PUBLICACIONES RECIENTES PIEB

Tecnologías limpias aplicables a la explotación de oro
Félix Carrillo (coord.), Ruth Zenteno y Laura Rubín de Celis

El costo ecológico de la política minera en Huanuni y Bolivar
Elizabeth López (coord.), Ángela Cuenca, Silvana Lafuente, Emilio Madrid y Patricia Molina

Thuska uma. Tratamiento de aguas ácidas con fines de riego
Juan Carlos Montoya (coord.), Jorge Amusquívar, Gunnar Guzmán, David Quispe, Rosmery Blanco y Norma Mollo

Daño genotóxico por contaminación minera en Oruro
María Eugenia Ascarrumz (coord.), Jacques Gardón, Flavia Barbieri, María Eugenia García, Noemí Tirado, Marina Cuti, Pamela Paco, Cristina Mejía, María Ruiz, Maritza Mercado y Mauricio Ormachea

Minería y conflictos socioambientales en Cantumarca
Rosario Tapia (coord.), Lourdes Tapia y Ernesto Quintana

La herencia de la mina. Representaciones acerca de la contaminación minera en Potosí
Ingrid Tapia (coord.), Olivier Barras y Juan Carlos Oporto

Generación, distribución y uso del excedente de hidrocarburos en Bolivia (Incluye un CD con matrices)
Hugo del Granado (coord.), Leila Mokrani, Mauricio Medinaceli y Jorge Gumucio

Uso productivo del excedente hidrocarburífero Propuesta de creación del Fondo Soberano de las Regiones
Juan Carlos Guzmán (coord.), María del Carmen Crespo, Tatiana Genuzio y César Santa Gadea

Excedente y renta en la minería mediana. Determinantes del crecimiento minero 2000-2009
Rolando Jordán (coord.), Julio Huméréz, Eliodoro Sandi y Paola Arano

Arquitecturas emergentes en El Alto: el fenómeno estético como integración cultural
Randolph Cárdenas (coord.), Edwin Mamani y Sandra Beatriz Sejas

La reconstitución del Jach'a Suyu y la Nación Pakajaqi. Entre el poder local y la colonialidad del derecho indígena
Guery Chuquimia (coord.), Rubén Chambi y Fernando Claros

En busca de la tierra sin mal. Los derechos indígenas en territorios guaraní
Karina Fernández (coord.) y Dante Vladimir Illanes

Los derechos indígenas y su cumplimiento en el territorio indígena de Guarayos
José A. Martínez (coord.) y R. Alicia Tejada

En esta investigación no sólo se puede encontrar datos sobre la magnitud de la contaminación minera en las aguas superficiales y subterráneas de la subcuenca de Japo-Pairumani del departamento de Oruro, sino una novedosa contribución para superar el problema y encarar la remediación ambiental de la mano con el desarrollo.

En efecto, las utilidades del retratamiento de sedimentos tóxicos que se propone podrían beneficiar a las comunidades afectadas por el deterioro ambiental, generando desarrollo local enfocado a la conservación, recuperación y protección de la fauna y flora y al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. La recuperación ecológica va de la mano con la activación industrial.

ISBN: 978-99954-32-92-8
9 789995 432828

2010


REMEDIACIÓN AMBIENTAL COMO ALTERNATIVA DE DESARROLLO LOCAL

PIEB

INVESTIGACIÓN AMBIENTAL






Embajada Real de Dinamarca



REMEDIACIÓN AMBIENTAL COMO ALTERNATIVA DE DESARROLLO LOCAL

Gerardo Zamora

Antonio Salas
Octavio Hinojosa
Genny Claure
Milton Pérez
Cinda Beltrán
Pedro Vallejos
Humberto Covarrubias

El Programa de Investigación Estratégica en Bolivia (PIEB) inició sus actividades el año 1994, en el marco institucional de la Fundación PIEB. Es un programa de carácter científico, cultural y social, creado con el propósito de contribuir al desarrollo de Bolivia a través de la promoción de la investigación científica sobre temas relevantes y estratégicos.

Los objetivos del PIEB son:

1. Apoyar la investigación orientada a la reflexión y comprensión de la realidad boliviana con la finalidad de contribuir a la generación de propuestas de políticas públicas frente a problemáticas nacionales, promover la disminución de asimetrías sociales y la inequidad existentes, lograr una mayor integración social y fortalecer la democracia en Bolivia.
2. Incentivar la producción de conocimientos socialmente relevantes y las aproximaciones multidisciplinaras que permitan visiones integrales de la sociedad, promoviendo simultáneamente la excelencia académica. Para el PIEB, desarrollar el conocimiento, investigación y acceso a la información son pilares para que una sociedad pueda afrontar su futuro.
3. Promover la formación de nuevas generaciones de investigadores dando énfasis en la formación de jóvenes. "Investigar formando y formar investigando" es uno de los principales propósitos del PIEB.
4. Desarrollar la capacidad local, regional y nacional de investigación a través de iniciativas de fortalecimiento a recursos humanos e institucionales.
5. Democratizar el acceso al conocimiento, a través de medios de comunicación especializados en investigación, ciencia y tecnología, y la creación de espacios de encuentro entre el Estado, la sociedad civil y la academia.

El año 2008, el PIEB puso en marcha el Programa de Investigación Ambiental (PIEB-PIA) con el objetivo de contribuir a propiciar acciones de cambio a favor del desarrollo sostenible en el país, mediante la formulación de propuestas de investigación que orienten a la toma de decisión y las políticas públicas a nivel local y nacional. En ese marco el Programa desarrolla sus actividades en distintas temáticas ambientales bajo una perspectiva integral, con la consideración de las dimensiones: social, económica, política y territorial.

Remediación ambiental como alternativa de desarrollo local

Remediación ambiental como alternativa de desarrollo local

Coordinador de la investigación
Gerardo Zamora E.

Investigadores
Antonio Salas C.
Octavio Hinojosa C.
Genny Claure A.
Milton Pérez L.
Cinda Beltrán O.
Pedro Vallejos M.
Humberto Covarrubias



Embajada Real de Dinamarca



Programa de Investigación Estratégica en Bolivia

Oruro, 2010

Esta publicación cuenta con el auspicio de la Embajada Real de Dinamarca.

Zamora Echenique, Gerardo
Remediación ambiental como alternativa de desarrollo local. / Gerardo Zamora E.; Antonio Salas C.; Octavio Hinojosa A.; Genny Claure A. Milton Pérez L.; Cinda Beltrán O.; Pedro Vallejos M.; Humberto Covarrubias. – La Paz: Embajada Real de Dinamarca; Fundación PIEB, 2010.
xxi; 185 p. ; maps.; cuads.; fots.; grafs.: 23 cm. -- (Serie Investigación Ambiental no.6)

D.L. : 4-1-1777-10
ISBN: 978-99954-32-92-8 : Encuadernado

CONTAMINACIÓN MINERA / OPERACIONES MINERAS / CONTAMINACIÓN-SULFUROS / CONTAMINACIÓN FLUVIAL / CONTAMINACIÓN QUÍMICA / ANÁLISIS DEL AGUA / TRATAMIENTO DEL AGUA / PLANTA INDUSTRIAL-MINERÍA / POLÍTICA DE MEDIO AMBIENTE / LUCHA CONTRA LA CONTAMINACIÓN / CONTAMINACIÓN POR METALES / ANÁLISIS DEL SUELO / DETERIORO DEL MEDIO AMBIENTE / GESTIÓN AMBIENTAL / CONTAMINACIÓN DEL SUELO / RIESGO SANITARIO / INDUSTRIA METALÚRGICA-ESTAÑO / CURSO DE AGUA-SEDIMENTACIÓN / ORURO / JAPO-MOROCOCALA / PAIRUMANI / SANTA FE

1. título 2. serie

Edificio Fortaleza. Piso 6. Oficina 601
Avenida Arce 2799, esquina calle Cordero
Teléfonos: 2432583 – 2431866
Fax: 2435235
Correo electrónico: fundacion@pieb.org
Servicio Informativo: www.pieb.com.bo
Casilla 12668
La Paz – Bolivia

Edición: Soledad Domínguez
Diseño gráfico de cubierta: PIEB
Fotografía de portada: Jean-Louis Duprey
Diagramación: Alfredo Revollo
Impresión:

Impreso en Bolivia
Printed in Bolivia

Índice

Índice de tablas

Índice de figuras

Índice de gráficas

Presentación

En el marco del Programa de Apoyo al Desarrollo Sostenible, Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Embajada Real de Dinamarca, el Programa de Investigación Estratégica en Bolivia (PIEB) implementa el componente de investigación ambiental, que tiene como uno de sus principales objetivos contribuir a promover, actualizar e incidir en políticas públicas con conocimiento, debate y propuestas sobre la temática ambiental y el desarrollo sostenible en Bolivia y fortalecer las capacidades en investigación ambiental.

El PIEB, a través de su Programa de Investigación Ambiental (PIA), impulsa el desarrollo de la investigación en las temáticas de gestión ambiental y de riesgos, gestión comunitaria de la biodiversidad y los recursos naturales.

En ese marco se inscribe la realización de las convocatorias para proyectos de investigación sobre Contaminación Minera en los departamentos de Oruro y Potosí, lanzadas en la gestión 2008 con el apoyo de una importante Plataforma Institucional integrada por las Prefecturas de los departamentos de Oruro y Potosí, la Universidad Técnica de Oruro (UTO), la Universidad Autónoma Tomás Frías (UATF), la Asociación de Municipios del Departamento de Oruro (AMDEOR), la Asociación de Municipios del Departamento de Potosí (AMDEPO), el Centro de Ecología y Pueblos Andinos (CEPA), el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD) y la Sociedad Potosina de Ecología (SOPE). Las convocatorias buscaron incidir en políticas públicas para la gestión ambiental minera, a través de la producción de conocimiento que desemboque en alternativas

para la prevención y mitigación de los efectos ocasionados por la contaminación minera.

Las investigaciones promovidas al interior de estas convocatorias se desarrollaron en dos fases de trabajo, entre los años 2008 y 2009: la primera, encaminada a la investigación misma; y la segunda, relacionada a la formulación de propuestas expresadas en planes, programas, proyectos, estrategias metodológicas, entre otros, con el fin de brindar respuestas concretas a las problemáticas estudiadas.

En este tiempo, se dio una interesante interacción entre investigadores, operadores de políticas públicas, actores de la sociedad civil, periodistas, en torno a los temas estudiados. Las investigaciones, sus resultados y propuestas fueron ampliamente difundidos y es grato mencionar que muchas de ellas han alimentado el diseño de políticas públicas relacionadas a la gestión ambiental minera y la salud. En esa óptica, los resultados de las investigaciones sobre contaminación minera han sido incorporados en planes de remediación ambiental y de desarrollo social; por otra parte, orientan programas de salud locales en Oruro y Potosí, y también han despertado interés en cooperativas mineras y comunidades locales, para la implementación de tecnologías de producción más limpia.

La participación social ha sido uno de los factores de mayor importancia en la realización de las investigaciones, tomando en cuenta que en la actualidad la incidencia más efectiva en políticas públicas se da mediante la movilización de los actores involucrados en una problemática. Es así que los beneficiarios de las investigaciones: comunidades locales, cooperativas mineras, población civil expuesta a los riesgos de la contaminación, operadores de políticas públicas, entre otros, cuentan con información, resultado de procesos de investigación, y con propuestas de remediación ambiental y desarrollo local, para la generación de demandas que mejoren la calidad ambiental y la calidad de vida. Este proceso de posicionamiento y reconocimiento público de los problemas ocasionados por la contaminación, es un antecedente importante para futuras iniciativas.

Destacamos, en ese sentido, la publicación de la primera serie de investigaciones ambientales y propuestas de intervención, integrada

por siete títulos relacionados a cuatro ejes temáticos: Políticas públicas para la gestión ambiental; Conflictos socio-ambientales en la gestión de los recursos hídricos y suelos; Políticas en salud y exposición a los riesgos de contaminación; y Tecnologías limpias aplicables a la pequeña minería.

Estos trabajos han sido desarrollados por un conjunto de destacados investigadores de diferentes disciplinas, comprometidos con el desarrollo del país a través de la generación de conocimiento relevante. Estamos seguros que las investigaciones y propuestas que presentamos en esta serie, ampliarán el impacto de los estudios, llegando a más públicos interesados, para contribuir al debate, a la reflexión y a la implementación de soluciones en torno a una problemática compleja y al mismo tiempo urgente para los departamentos mineros de Oruro y Potosí.

Godofredo Sandoval
Director del PIEB

Prólogo

La minería en Bolivia continúa siendo una actividad de relevante importancia social y económica con implicaciones ambientales significativas, particularmente en lo concerniente a la contaminación de cuencas en las cuales esta actividad se ha desarrollado históricamente.

Pese a los esfuerzos realizados por distintos actores públicos y privados en los ámbitos académicos, empresariales y de gobierno, todavía son limitadas las investigaciones científicas que propongan iniciativas para mitigar los pasivos ambientales acumulados por prácticas mineras poco amistosas con el medio ambiente.

Por eso, esta propuesta técnica, socioeconómica y ambiental de tratamiento de los sedimentos de ríos contaminados como alternativa de remediación ambiental y desarrollo socioeconómico local, desarrollada por la Dirección de Posgrado e Investigación Científica de la Universidad Técnica de Oruro, es un esfuerzo novedoso que, sin lugar a dudas, contribuirá al debate sobre la necesidad de nuevas iniciativas para enfrentar impactos ambientales de larga data, que por limitaciones de orden tecnológico y financiero se ven postergadas en el país.

La investigación que nos honra presentar tiene como objetivo: "contribuir a mejorar la calidad de vida de las comunidades de la subcuenca Japo-Morococala y Santa Fe a partir del estudio técnico, económico y ambiental de los sedimentos del río como alternativa objetiva y práctica de remediación ambiental y fuente financiera para encarar el desarrollo económico local". Este trabajo se constituye,

pues, en una contribución significativa para generar respuestas tecnológicas aplicables a las condiciones particulares del área geográfica que se ha estudiado, y da luces sobre alternativas de solución a una problemática cada vez más acuciante: la contaminación de las aguas y la escasez de este recurso en zonas de tradición minera, particularmente en el altiplano boliviano.

En este libro se demuestra la factibilidad de la propuesta tecnológica desarrollada por el equipo de investigadores. Dadas las condiciones favorables de los precios internacionales para el estaño, se demuestra con suficiente sustento técnico y financiero que es posible mejorar la calidad de vida de los pobladores de las comunidades de la subcuenca Japo-Morococala y Santa Fe mediante el retratamiento de sedimentos contaminados como alternativa de remediación ambiental y fuente financiera.

La propuesta de investigación ha respondido a esta premisa: "si se considera los cauces de los ríos contaminados como reservas minerales, su explotación sostenible podría permitir al mismo tiempo la remediación ambiental y la generación de recursos económicos para realizar el desarrollo económico local de las comunidades afectadas".

Tal premisa puede extrapolarse a otras cuencas mineras del altiplano, particularmente en los departamentos de Oruro y Potosí; por lo tanto, la propuesta investigativa puede ser replicada en extensas regiones geográficas con tradición minera.

Este libro tiene así el mérito de aportar con propuestas novedosas a la problemática ambiental. Formula nuevas iniciativas de investigación para recuperar recursos minerales que actualmente están acumulados como pasivos ambientales y que bien pueden generar recursos económicos para el desarrollo si se promueven acciones de remediación ambiental.

También puede servir para que quienes toman decisiones políticas puedan, en el futuro inmediato, ampliar la discusión sobre los potenciales proyectos de remediación ambiental y social en el área concreta que se ha estudiado y en otras regiones del país con características similares, pues otra de las virtudes de este trabajo es que

propone procesos de desarrollo complementarios en regiones donde la actividad minera es la fuente principal de ingresos económicos.

Cabe destacar una vez más la iniciativa promovida por el PIEB, un referente nacional en tanto institución promotora de propuestas de investigación que aportan al incremento del conocimiento sobre temáticas centrales en el quehacer del desarrollo en el país. Los libros que resultan de estas investigaciones, generan acciones concretas y contribuyen al desarrollo económico y social en la diversidad de regiones que forman parte de la geografía patria.

Juan Carlos Enríquez
Presidente de Servicios
Ambientales S.A.

Primera parte

Investigación

Introducción

Este libro plantea un ambicioso y completo proyecto de retratamiento de sedimentos de la industria minera y la correspondiente remediación ambiental en las zonas afectadas por la contaminación.

Es el producto de una investigación centrada en el cauce del río que atraviesa las localidades mineras de Morococala, Santa Fe y Japo y las localidades campesinas de Aco Aco y Pairumani, en el departamento de Oruro, donde se propone recuperar el estaño fino diseminado en las aguas mediante el método de concentración gravimétrica centrífuga. Con las utilidades de tal proceso, se prevé generar los recursos económicos necesarios para la remediación ambiental de las aguas y tierras contaminadas en la zona, separando y haciendo una disposición final de los sulfuros diseminados, realizando el adecuado manejo ambiental de los sólidos del proceso y encarando el desarrollo económico local de Aco Aco y Pairumani, comunidades afectadas por la contaminación.

En la cuenca hidrográfica alta de la zona de estudio, la minería ha explotado tradicionalmente estaño de alta ley y complejo de plata, plomo y zinc; en tanto que en la cuenca baja, destaca la actividad agrícola y pecuaria destinada al autosustento alimenticio de las familias campesinas que allí viven.

En los últimos años, debido al alza internacional de los precios de minerales, se ha reactivado la industria minera y el trabajo en los ingenios, particularmente en el departamento de Oruro, pero sin tomar en cuenta las medidas de preservación ambiental que dictan las normas vigentes. De este modo, los relaves presentes en

los cauces de los ríos, con alta presencia de sulfuros, producen una gran carga de metales pesados disueltos, ácidos y sulfatos generados por la oxidación de dichos sulfuros (especialmente pirita y complejos sulfurados), lo que altera significativamente la calidad de las aguas de los ríos y afecta directamente a la zona baja de la subcuenca.

Por eso, el principal problema que el estudio pretende resolver es la contaminación hídrica por la presencia de sedimentos mineros. Aguas arriba del río, la actividad minera en las localidades de Japo, Santa Fe y Morococala, genera los vertidos; y aguas abajo, las localidades de Aco Aco y Pairumani se ven afectadas por dichos vertidos.

En las localidades mineras, el deterioro de los servicios básicos es evidente y no se sabe de planes que busquen su mejora; mientras que en las localidades campesinas no existen proyectos de desarrollo sostenible ni alternativa alguna de remediación ambiental. Y no es que no existan potencialidades en la zona. Si en la cuenca alta es la minería, en la cuenca baja se puede explotar el turismo, por ejemplo, en los antiguos caminos que conectan a las comunidades.

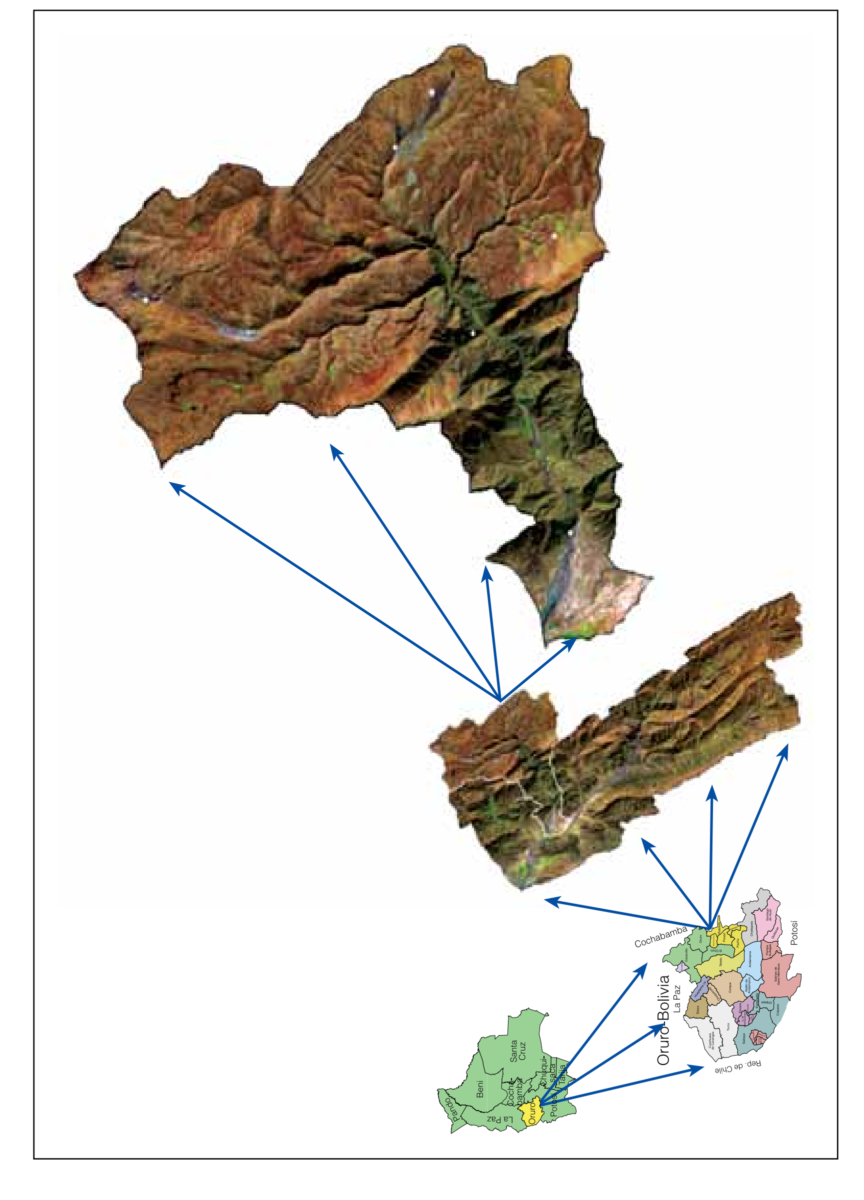
Frente a esta realidad, hasta ahora no se sabía de proyecto alguno que tome en cuenta las potencialidades productivas locales para generar una mejor explotación minera y al mismo tiempo realizar la remediación y prevención ambiental para permitir las actividades agropecuarias.

El proyecto que en estas páginas se propone podría lograr, a la par de generar una nueva actividad minera, eliminar los sulfuros de los sedimentos acuáticos que generan permanente drenaje ácido de roca que carga, a su vez, de metales pesados a la cuenca. Estos metales, extraídos de las aguas, podrían ser dispuestos en diques de colas según las normas ambientales. Así se podría limpiar un área contaminada por décadas con residuos mineros que han reducido al mínimo todas las actividades antes tradicionales, pecuarias y agrícolas, y limpiar los suelos y las aguas subterráneas.

Las utilidades del proyecto de retratamiento de sedimentos podrían entonces beneficiar a las comunidades afectadas por el deterioro ambiental mediante una propuesta de desarrollo local enfocada

a la conservación, recuperación y protección de la fauna y flora y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, porque la explotación inadecuada de plantas nativas y su mala utilización (sobre todo en la actividad de pastoreo) hacen que la cobertura vegetal disminuya constantemente y se extingan valiosas especies vegetales en algunos sectores. La recuperación ecológica puede replicarse en gran parte de la zona si se logra una buena inversión en la protección de especies de flora y fauna.

Este libro puede considerarse, pues, un aporte y una base para tomar decisiones políticas respecto de un tratamiento industrial de los residuos mineros en las aguas de la cuenca Japo-Pairumani. Si el proyecto que aquí se propone logra plasmarse, podemos asegurar que en la zona ya no habrá contaminación ni de suelos ni de aguas subterráneas; la gente que vive en los alrededores nuevamente podrá dedicarse, y con mayor fuerza, a trabajos agropecuarios, a cultivar productos para autoabastecerse o para venderlos en los mercados, y habrá condiciones óptimas para la crianza de ganado de todo tipo.



Ubicación geográfica del estudio

CAPÍTULO I

Oportunidades para la remediación ambiental

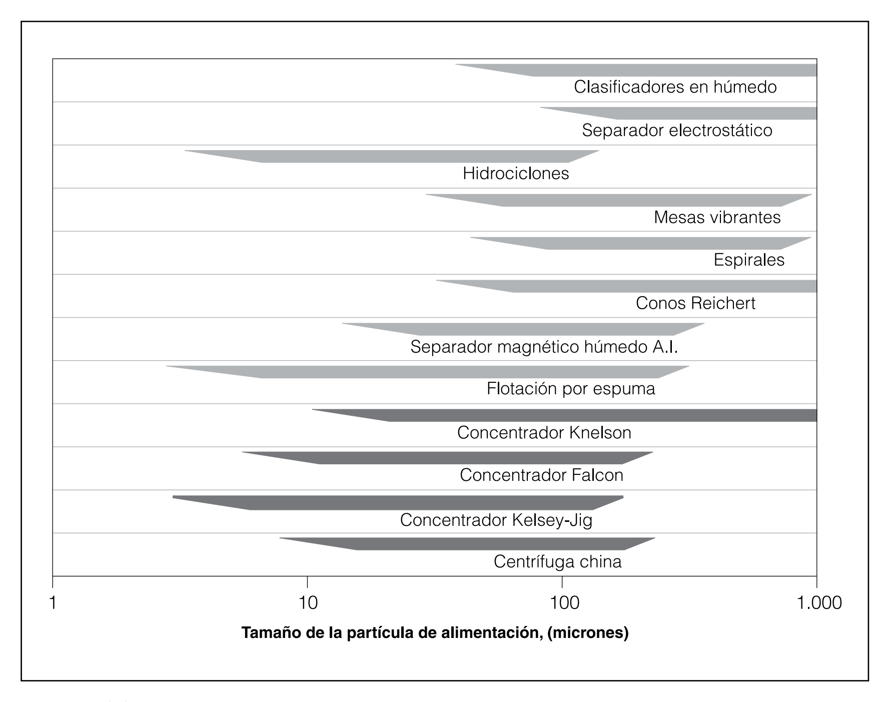
1. Las posibilidades tecnológicas

La concentración gravimétrica es la más simple y económica de todos los métodos de concentración de minerales. Permite recuperar valores en un rango de tamaños bastante amplio y hoy en día está adquiriendo nueva importancia frente a otras opciones tecnológicas porque no requiere de reactivos ni de reacciones químicas de transformación que generen compuestos tóxicos que contaminan el ambiente.

En los procesos gravimétricos, las partículas de mineral se separan por su diferente densidad; cuanto mayor la diferencia de densidad de dos minerales, más fácil será la separación. Sin embargo, cuanto menor es el tamaño de las partículas, mayor es la importancia de las fuerzas de viscosidad, fluidez y rozamiento que se oponen a la separación de partículas; de ahí que la eficiencia en la separación disminuya drásticamente cuando las partículas son más finas (figura 1).

La concentración gravimétrica clásica de minerales pesados se realizó utilizando diferentes equipos que actúan bajo la aceleración de la gravedad normal del campo gravitacional terrestre; en esas condiciones, cada equipo tiene sus limitaciones en cuanto al tamaño de partículas que se pueden procesar y en cuanto al rendimiento que se puede obtener en la recuperación de los elementos valiosos.

Figura 1
Escala efectiva de aplicación de técnicas convencionales de concentración clásica y concentración centrífuga



Fuente: elaboración propia.

Ya desde hace bastante tiempo se utiliza el campo centrífugo con aceleraciones mayores a diez micrones en ciclones y el Dyna Whirpool principalmente en operaciones de preconcentración con pulpas pesadas; pero sólo desde hace pocos años se está utilizando el campo centrífugo de mayor fuerza para el tratamiento de partículas finas de largo espectro no sólo en la minería aurífera sino también en la recuperación de otros minerales como casiterita, wolframita, tantalita, etc.

Las ventajas que se atribuyen a esta nueva técnica de concentración son las siguientes: *mayor recuperación* (puede superar el 80%), bajos costos de operación, necesita menor espacio para la instalación y mayor capacidad de tratamiento.

A estas ventajas, ya reconocidas, pueden añadirse otras que resultan de la aplicación específica a cada mena, como por ejemplo *menor consumo de agua*, incorporación de reservas actualmente no incluidas en los programas de producción, menor impacto ambiental porque no emplea reactivos ni tiene emanaciones gaseosas de contaminantes.

La concentración gravimétrica centrífuga puede emplearse actualmente en un amplio rango de fracciones granulométricas que pueden ir desde 65 mallas Tyler hasta 6 micrones, utilizando equipos adecuados para diferentes rangos de tamaño de las fracciones, entre los que sobresalen: el concentrador Knelson, el concentrador Falcon, el separador multigravimétrico Mozley, la centrífuga china y el concentrador Kelsey-Jig.

La gran ventaja de estos equipos es que producen la sedimentación de partículas bajo el efecto de una fuerza centrífuga varias veces mayor a la aceleración de la gravedad, lo que hace posible una concentración más rápida, incluso cuando las diferencias de densidad entre las partículas no es muy significativa, y se elimina la condición límite del conocido criterio de concentrabilidad de Taggart en su forma clásica de presentación. Con estas ventajas incorporadas, la concentración gravimétrica centrífuga resultaría mucho más competitiva que otros procesos para el procesamiento de finos.

Varios estudios han sido realizados en los laboratorios de concentración de minerales de la Facultad Nacional de Ingeniería de la Universidad Técnica de Oruro; dentro de ellos se destacan los realizados mediante concentración centrífuga de muestras procedentes de cinco fuentes diferentes: dos de yacimientos primarios (San Florencio y Japo); dos de relaves antiguos (Kenko y San Miguel) y una es un producto fino de una operación actual (Underflow 120 micrones, de Huanuni). Todas estas muestras tienen sus propias características y dificultades de procesamiento.

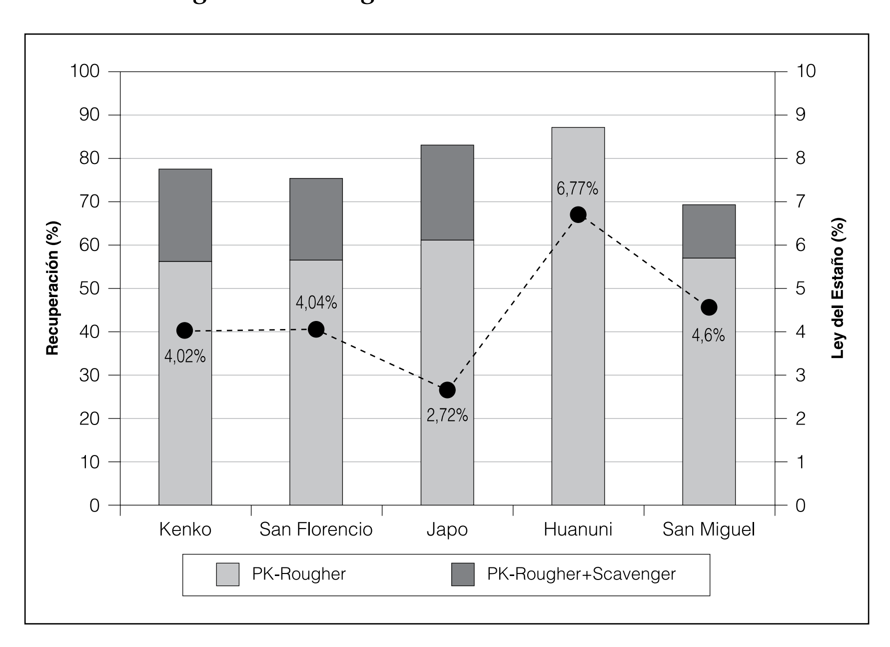
Las cinco muestras han demostrado que pueden ser procesadas por concentración centrífuga y que se puede obtener excelentes resultados, superiores, en todos los casos, a los resultados hasta ahora obtenidos por otros procesos y estudios.

La recuperación de casiterita por concentración gravimétrica centrífuga es eficiente para partículas mayores a diez micrones. Por lo general, se alcanza recuperaciones muy altas (entre 70% y 90 %, véase figura 1) en cada una de las fracciones granulométricas mayores a diez micrones si las partículas tienen un grado de liberación adecuado. Si se trata de partículas mixtas, éstas pueden tener recuperaciones más bajas, dependiendo del grado de asociación.

Los concentrados obtenidos, para todos los casos, pueden estar por encima del 40% y hasta llegar a más del 60%, como se puede ver en las figuras 2 y 3.

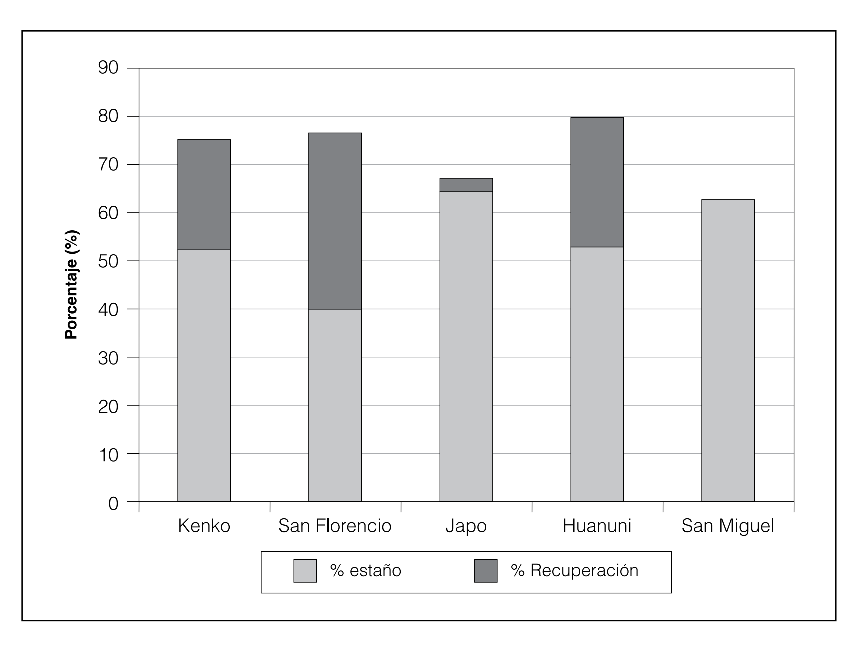
En la actual coyuntura, donde hay buenos precios para el estaño en el mercado internacional, la concentración centrífuga es una buena opción tecnológica, por sus altos índices de recuperación, bajos costos de tratamiento y el manejo ambiental sencillo de los productos del proceso.

Figura 2
Índices metalúrgicos en la etapa de preconcentración *rougher* + *scavenger* de las muestras en estudio



Fuente: elaboración propia.

Figura 3
Índices metalúrgicos de la etapa de concentración en mesas



Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, no se ha reportado estudios referidos al tratamiento de sedimentos de ríos para recuperar la casiterita finamente diseminada, por lo que este estudio se constituiría en un aporte importante al conocimiento, con una aplicación práctica inmediata.

2. Problemática de la contaminación ambiental

En los últimos años, la subida del precio de los metales en el mercado internacional ha reactivado las minas y los ingenios mineros, que han vuelto a trabajar sin adecuar sus operaciones a las normas medioambientales. La enorme fuente de contaminación que constituye la actividad minera podría ser eliminada en la medida en que las autoridades ambientales hagan cumplir las normativas vigentes; pero mientras eso pase, a los cauces de los ríos siguen llegando relaves con alta presencia de sulfuros, metales pesados disueltos, ácidos y sulfatos (generados por la oxidación de los sulfuros, especialmente pirita y complejos sulfurados). Esta descarga letal, que ya se prolonga

por décadas, altera significativamente la calidad de las aguas, y eso se agrava con la inadecuada explotación en los mismos lechos de los ríos por parte de "pequeños mineros", que recurren generalmente a la flotación rústica en *buddle*, utilizando ácido sulfúrico, xantatos y diesel en cantidades exageradas.



Subcuenca Pairumani-Japo con presencia de sedimentos contaminados. Fotografía: Jean-Louis Duprey-IRD.

La intensa actividad minera a la que estaba sometida gran parte de la región en la que se encuentra la subcuenca Japo-Pairumani, en el departamento de Oruro, influyó para que la población de sus comunidades cambie sus cotidianas actividades agropecuarias por otras o migre del lugar ya que sus tierras y aguas fueron contaminadas.

Esta contaminación se debe a la actividad minero-metalúrgica de los centros mineros de Morococala, Japo y Santa Fe, principalmente.

Por muchas décadas, las colas de esos centros no fueron adecuadamente atrapadas en diques de colas, según lo exigen las normas medioambientales vigentes. La mayor parte de sus descargas ha ido

a parar, durante todo ese tiempo, a los cuerpos receptores acuosos (quebradas, riachuelos y finalmente ríos).

Cada uno de estos centros mineros contaba con su respectivo ingenio para procesar sus minerales; los ingenios descargaban sus colas o parte de ellas a los ríos cercanos, contaminando con residuos minerales sulfurosos y oxidados y elevadas concentraciones de iones de metales pesados las aguas que desembocan en el lago Poopó.

Los residuos minerales se distribuyen a lo largo y a lo ancho de los ríos, especialmente los sulfuros. Éstos, al descomponerse por la acción del aire y del agua, forman el drenaje ácido de roca, solución ácida que lleva consigo metales disueltos y que contamina no sólo los suelos próximos a las riberas sino que también se infiltra en las profundidades de los ríos llegando a contaminar los acuíferos subterráneos que otrora eran fuente de provisión de las comunidades de esta zona.

Según relatan los pobladores afectados, se ha intentado hacer proyectos de remediación, pero no han prosperado por la debilidad de las gestiones y por sus costos elevados.

Entre tanto, esos mismos pobladores consideran que el remedio pasa por la recolección y el tratamiento de las descargas ácidas en toda la extensión del río, por la reducción de las infiltraciones o el desvío de las aguas contaminadas. Pero el tema es más complejo. En la legislación canadiense, por ejemplo, no se considera remediación ambiental a la simple recolección y tratamiento de aguas ácidas de mina, es tan sólo una solución temporal; las soluciones ambientales eliminan la fuente de contaminación o la aíslan completamente.

Se debe pensar, pues, en una solución práctica para descontaminar los ríos; para ello, pueden considerarse diferentes alternativas, unas más caras que otras, unas más eficientes que otras; pero todas tienen un costo, pues la remediación ambiental es una monumental tarea.

En el concepto de *"win, win, win"* ["ganar, ganar, ganar"], el cauce de un río se asume también como un filón minero para explotar. Hoy, el avance tecnológico permite tratar también esos "yacimientos" con

contenidos de estaño tan pobres que antes habrían sido considerados colas.

Por tanto, el *tratamiento de los sedimentos mineralizados depositados en el río* podría ser una alternativa técnicamente posible, puesto que la concentración centrífuga permite recuperar a la casiterita muy fina presente en los sedimentos; económicamente viable, puesto que permitiría generar utilidades, y ambientalmente amigable, puesto que permitiría separar los sulfuros que alteran la calidad de los ríos de manera significativa. Así sería posible "pagar" la descontaminación con las utilidades generadas por una explotación minera sostenible del lecho del río.

Tales acciones permitirían, pues, remediar la contaminación de los cauces de los muchos ríos afectados por operaciones mineras antiguas, mejorar la calidad de las aguas, contribuir a restablecer o a mejorar la producción agrícola de las zonas afectadas y mejorar la calidad de vida de las comunidades dañadas por los efectos de la contaminación.

En este libro se habla precisamente de eso: del tratamiento de los sedimentos de los cauces de los ríos mediante concentración gravimétrica centrífuga para recuperar el estaño fino diseminado en sus aguas para generar al mismo tiempo, con las utilidades del proceso, los recursos económicos que necesita la remediación ambiental basada en la separación y disposición final de los sulfuros diseminados; y del adecuado manejo ambiental de los sólidos del proceso, además de encarar el desarrollo económico de las comunidades afectadas.

La formulación precisa de las preguntas de la investigación han sido las siguientes:

De carácter descriptivo:

¿Cuál el efecto de impacto ambiental que causan los residuos mineros (colas) presentes en los ríos de Japo, Santa Fe y Morococala?

¿Es posible recuperar el estaño fino del cauce bajo de la confluencia de los ríos Japo, Santa Fe y Morococala?

De carácter correlacional:

¿Qué réditos económicos, sociales y ambientales causa el tratamiento de los cauces de los ríos como alternativa de remediación ambiental?

De carácter explicativo:

¿Es posible encarar con la remediación ambiental el desarrollo económico local de las comunidades afectadas?

2.1. Viabilidad técnica, socioeconómica y ambiental de la investigación

Se ha mencionado en párrafos anteriores que el contenido de estaño en los cauces de los ríos es muy pobre (posiblemente cerca al 0,15 % o un poco más); sin embargo, la coyuntura en el mercado internacional le da un precio muy alto en el mercado, por lo que, si se considera un proceso barato y de tecnología simple, es posible pensar en recuperarlo. Asimismo, en el proceso de tratamiento, se separan también los sulfuros, cuya fracción puede ser dispuesta de manera ambiental y así eliminar la fuente principal de contaminación.

El estudio económico que se detalla en este libro involucra el cálculo de ingresos con la venta de los concentrados, la ley de estaño a ser obtenido en las pruebas metalúrgicas y la determinación de los costos de inversión; costos directos e indirectos; análisis de flujo y sensibilidad y otros.

Las utilidades del proceso podrían permitir desarrollar económicamente las comunidades afectadas con el mejoramiento de sus vocaciones productivas. La propuesta de desarrollar la remediación y a través de ésta generar utilidades económicas entra en el concepto "*win, win, win*" ["ganar, ganar, ganar"].

Esta investigación se sustenta en una base científica obtenida en pruebas metalúrgicas de laboratorio. Tiene un enfoque cuantitativo y de alcance experimental. Además, tiene carácter participativo, pues plantea involucrar a las comunidades afectadas dotándolas de un medio para generar su propio desarrollo económico local.

3. Objetivos

El objetivo general es contribuir a mejorar la calidad de vida de las comunidades de la subcuenca Japo, Morococala y Santa Fe mediante el estudio técnico, económico y ambiental de los sedimentos del río como alternativa objetiva y práctica de remediación ambiental y fuente financiera para encarar el desarrollo económico local.

Los objetivos específicos son:

- Realizar un diagnóstico socioeconómico y ambiental de la subcuenca.
- Caracterizar los sedimentos del lecho del río mediante pruebas geoquímicas estáticas y dinámicas.
- Estudiar la factibilidad técnica, socioeconómica y ambiental de la recuperación del mineral de estaño que se encuentra en fina granulometría en los sedimentos del río, empleando la concentración centrifuga y la concentración gravimétrica.
- Proponer alternativas de desarrollo económico local de las comunidades mediante un plan de negocios que involucre componentes técnicos, económicos, sociales y ambientales.

CAPÍTULO II

Explicando la metodología

1. Metodología general

A continuación, una descripción breve de los pasos que siguió esta investigación.

1.1. Fase I: trabajo de gabinete

En esta primera fase se procedió a la recopilación y análisis de información en fuentes secundarias para realizar un diagnóstico socioeconómico y ambiental de la subcuenca. Luego se adquirió imágenes satelitales, mapas de geología, geomorfología, suelos e hidrología, uso de la tierra, cobertura vegetal de la zona y otros datos. Se analizó, evaluó y sistematizó toda la información existente para proceder luego a la planificación del trabajo de campo con el equipo técnico. Para ello se preparó mapas temáticos mediante imágenes satelitales, se elaboró el mapa base y se definió las unidades de paisaje, al mismo tiempo que se preparaba materiales y equipos para muestreo y caracterización de los sedimentos del río.

1.2. Fase II: trabajo de campo

En esta fase se estableció contacto directo con las autoridades locales para explicarles, en reuniones específicas, el trabajo a realizar, sus alcances y el plan de trabajo.

Luego se procedió a reconocer el área de estudio y contrastar el mapa base con las unidades existentes en el terreno. Se evaluó los mapas temáticos preliminares y se procedió al muestreo sistemático

de los sedimentos del río. También se realizó talleres con los pobladores de las distintas comunidades ubicadas en la zona; allí también se realizaron las encuestas y entrevistas con las organizaciones locales y con los pobladores.

1.3. Fase III: trabajo experimental en laboratorio

En esta fase se realizó las pruebas geoquímicas ambientales y de concentración gravimétrica centrífuga en laboratorio, se evaluó e interpretó los resultados para proceder a elaborar nuestra propuesta de remediación ambiental de la cuenca y a la par una propuesta de desarrollo económico local.

1.4. Fase IV: validación y difusión de resultados

En la última fase, se presentó el diagnóstico socioeconómico a los pobladores de la zona, a sus organizaciones locales y autoridades. Se seleccionó y priorizó las actividades productivas que son de interés comunitario, se definió qué acciones se debe seguir y con todo ello se formuló finalmente la propuesta técnica, económica y ambiental de remediación y de desarrollo económico local.

2. Metodología específica: diagnóstico socioeconómico y ambiental de la subcuenca

2.1. Diagnóstico socioeconómico

En un enfoque cuantitativo, se elaboró boletas de encuesta para obtener información sobre aspectos sociales y económicos y sobre la percepción de los factores ambientales por parte de los comunarios; se evaluó el instrumento de medición; se determinó las muestras estadísticas con información del Instituto Nacional de Estadísticas (considerando un error del 5% y 95% de confiabilidad) y se preparó las brigadas que se encargaron luego de realizar las encuestas.

Una vez culminado ese trabajo, se procedió a analizar y evaluar los resultados de las encuestas y se presentó los resultados socioeconómicos y ambientales.

Para determinar el tamaño de la muestra sujeta a encuesta, se consideró la relación estadística siguiente:

$$n = \frac{z^2 * p(1 - p) * N}{e^2 (N - 1) + z^2 * p(1 - p)}$$

Donde:

n = muestra poblacional
N = población de estudio
z = confiabilidad del 95% (z = 1,96)
e = error estadístico del 5% (e = 0,05)
p = probabilidad de ocurrencia del 50% (p = 0,5)

En un enfoque cualitativo, se realizó la llamada “inmersión de campo”, donde se elaboró entrevistas semiestructuradas a los comunarios sobre aspectos sociales y económicos y sobre la percepción de los factores ambientales; se preparó al personal encargado de realizar las entrevistas y se llevó a cabo esas entrevistas. Una vez concluidas, se las analizó y evaluó y se presentó sus resultados socioeconómicos y ambientales.

2.2. Diagnóstico ambiental

Para realizar una evaluación de los factores ambientales, se consideró:

El clima. Se usó los datos de la estación situada en el área de estudio (área de influencia), proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Los datos obtenidos abarcan sesenta años (1945-2005). Para los datos meteorológicos faltantes se utilizó el método racional deductivo. Este método permite estimar los registros mensuales faltantes apoyándose en la información que brindan los años completos (Campos 1987).

La flora. Para los aspectos descriptivos de las asociaciones vegetales se usó dos metodologías: el transecto variable (propuesto por Foster *et al.* 1995) y los cuadrantes (método propuesto por Braun Blanquet 1979). También se evaluó las estrategias y formas de vida

(métodos propuestos por Grime 1979 y Raunkiaer 1937, respectivamente).

La fauna. El análisis del estado de protección de la fauna silvestre en la zona de estudio se basó en tres categorías:

1) Especies protegidas por la legislación boliviana. Se tomó en cuenta aquellas que figuran en decretos supremos vigentes que establecen la prohibición total de su caza o comercio, sin establecer límites de tiempo.
2) Especies de comercio internacional restringido. Son especies bolivianas que figuran en los Apéndices I y II del Convenio sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES).
3) Especies amenazadas de extinción. Las especies bolivianas que figuran en el diagnóstico mundial auspiciado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) de las especies que presentan diferentes grados de amenazas. Este diagnóstico ha sido publicado como el *Libro rojo*.

El suelo. Para analizar este factor ambiental se desarrolló el estudio de riesgo de erosión y degradación de suelos, utilizándose para el efecto técnicas especiales de SIG (sistema de información geográfica) y teledetección. Fue una importante etapa en la planificación de acciones destinadas a la protección y aprovechamiento de los recursos naturales, así como para la ejecución de planes de manejo y conservación de suelos. La primera etapa del proceso de evaluación de riesgo contempló la elaboración de mapas temáticos de geología, geomorfología, cobertura vegetal, unidades erosivas y el mapa de pendientes. El mapa de unidades geológicas se obtuvo de las cartas geológicas disponibles en el Servicio Geológico de Bolivia. Para el área de estudio se utilizó las hojas geológicas 6239 a escala 1:100000.

Los mapas de unidades geomorfológicas, cobertura vegetal y unidades erosivas se obtuvieron mediante técnicas especiales de teledetección. Para tal efecto se utilizó imágenes satélite Landzat TM. El análisis visual se realizó utilizando tres bandas de sensor,

coincidiendo con la capacidad de los monitores empleados en informática, monitores RBG (*Red-Blue-Green*).

Tabla 1
Relación de combinaciones de bandas según el tipo de estudio

Tipo de estudio	Combinación
Erosión de suelo	3 5 7
Erosión de suelo	3 5 4
Clasificación de cubiertas	2 4 7
Clasificación de cubiertas	2 4 5
Geología – geomorfología	1 3 5

Fuente: elaboración propia.

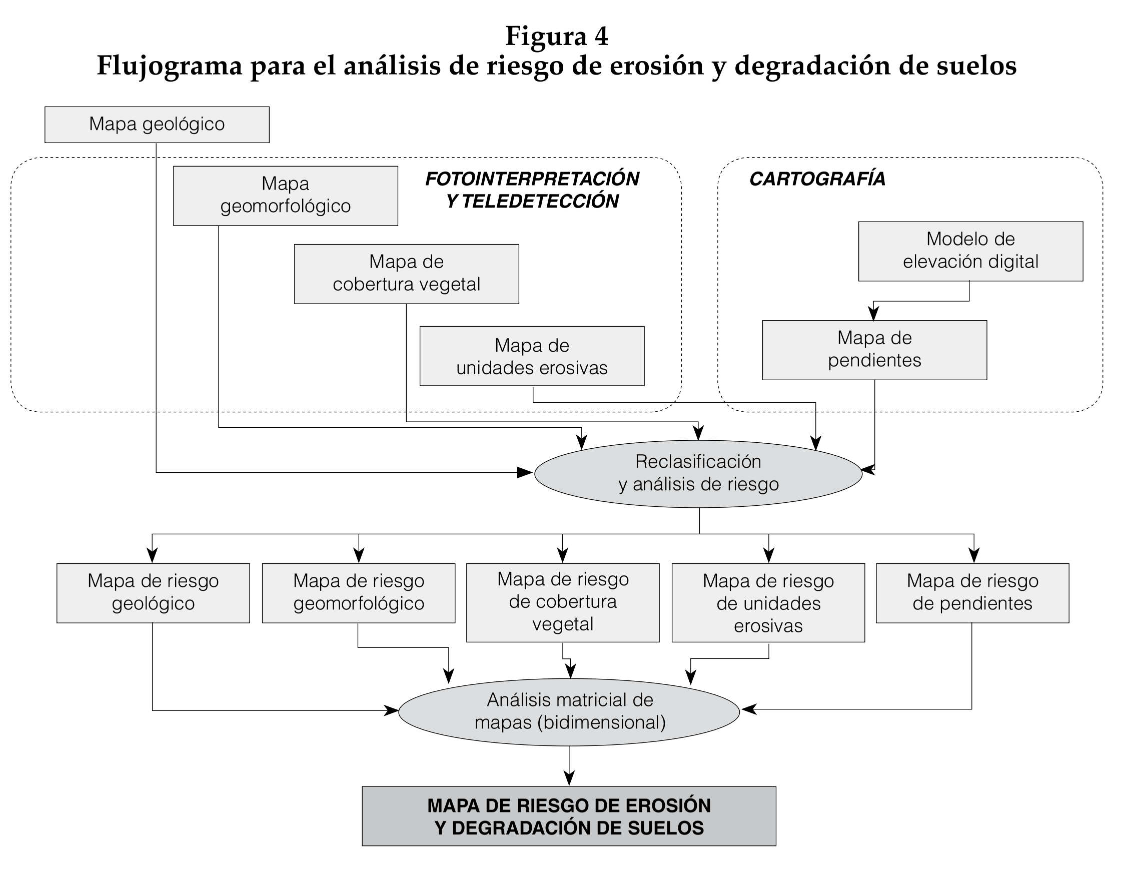
El mapa de pendientes se elaboró con las curvas de nivel procedentes de la cartografía del Instituto Geográfico Militar (escala 1:50000), con curvas de nivel acotadas cada veinte metros.

3. Análisis de riesgos biofísicos

Cada uno de los mapas generados se evaluó y reclasificó según un riesgo de erosión y degradación de suelos. Luego fueron sobrepuestos y analizados mediante matrices bidimensionales utilizando técnicas especiales de SIG. El mapa de riesgo de erosión y degradación de suelos, además de reflejar el estado actual del deterioro, permite hacer un análisis de intervención a mayor profundidad, y a partir de ello es posible identificar en el área de estudio zonas con múltiples grados de degradación y erosión de suelo. Con esta información se posibilita la generación de áreas de priorización e intervención en las subcuencas. Este análisis se realiza mediante una ponderación de los grados de riesgos, lo cual se inicia en la reclasificación de los mapas temáticos. En una subcuenca, los grados de riesgo identificados son: áreas de riesgo muy bajo, áreas de riesgo bajo, áreas de riesgo moderado, áreas de riesgo alto y áreas de riesgo muy alto.

En la figura 4 se detalla la metodología para el análisis del riesgo de erosión y degradación de suelos; para el efecto se ha utilizado técnicas especiales de SIG y teledetección.

Figura 4
Flujograma para el análisis de riesgo de erosión y degradación de suelos



Fuente: elaboración propia.

3.1. Áreas de riesgo muy bajo

Presentan una estabilidad bastante alta, razón por la cual no aportan sedimentos hacia el cauce principal. Muchas de estas zonas se encuentran conformadas por áreas exclusivamente rocosas, con pendientes fuertes no susceptibles a pérdidas de suelo debido a que no presentan formaciones edafológicas. Las áreas de riesgo muy bajo también se encuentran en zonas donde la cobertura vegetal es densa y constante. La mayoría de las veces se favorece por la ligera pendiente que presentan.

3.2. Áreas de riesgo bajo

Presentan una estabilidad casi firme, su aporte de sedimentos hacia el cauce principal es mínimo. Estas áreas se caracterizan por su uso agrícola temporal, comúnmente se encuentran en zonas con algunos herbazales altos, zonas agropastoriles y de arbustos bajos y altos. Pueden presentar predominio de afloramientos rocosos asociados con áreas de pastizales moderadamente densas y de porte alto.

3.3. Áreas de riesgo moderado

Están constituidas por materiales moderadamente estables; por lo tanto, su aporte de sedimentos hacia el cauce principal es mayor que en las áreas de riesgo bajo. Se encuentran mayormente en zonas con predominio de pastizales altos y arbustales de porte bajo, los cuales a menudo tienen presencia de afloramientos rocosos. En casos extremos se pueden hallar en zonas de agricultura temporal. Muchas de estas áreas corresponden a laderas con pendientes moderadas a fuertes (50% a 80%), y en algunos casos menores a estos porcentajes. Presentan en la superficie erosión por surcos moderados a ligeros y de tipo laminar ligero a moderado, también pueden presentar algunas cárcavas ligeramente activas.

3.4. Áreas de riesgo alto

Presentan un mayor aporte de sedimentos hacia el cauce principal; son zonas de moderada estabilidad. Se ubican generalmente en laderas con pendientes fuertes (80% a 100% y 50% a 80%), que son altamente susceptibles a deslizamientos.

En la mayoría de los casos, presentan cárcavas activas a moderadamente activas, con presencia de surcos severos y erosión laminar severa; también se caracterizan por presentar una cobertura del tipo herbazal ralo, con ligera presencia de arbustales ralos. Sobre estas unidades es común encontrar materiales coluviales y escombros de talud.

3.5. Áreas de riesgo muy alto

Su material de formación es bastante inestable, conformado mayormente por deslizamientos activos, materiales coluviales, cárcavas en ampliación, escombros de talud y otros de materia frágil. Presentan un alto volumen de arrastre de sedimentos hacia el cauce principal; a esto se suma las pendientes que en muchos casos sobrepasan el 80%.

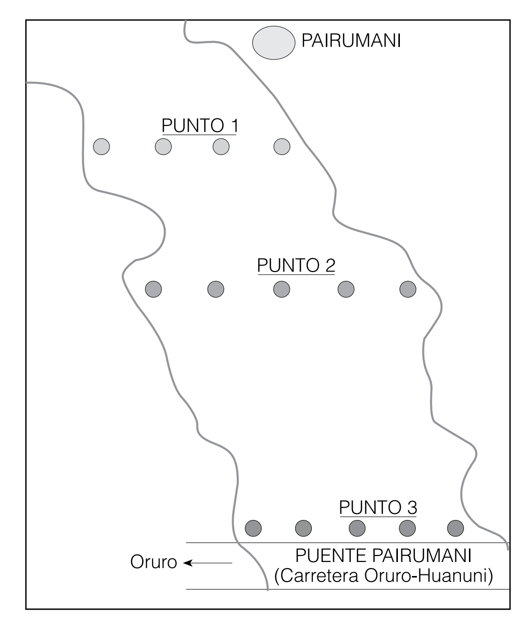
La evaluación de impactos ambientales se basó en la matriz de Leopold, modificada, donde se realiza el proceso de cribado de los impactos de menor importancia. La evaluación de los impactos consiste en comparar su magnitud estimada con criterios de calidad ambiental, normas técnicas ambientales o la percepción de la población afectada. Para determinar si un impacto es significativo, se analizó tanto su contexto como su intensidad.

4. Pasos seguidos para el tratamiento metalúrgico de los sedimentos

Se procedió a realizar la campaña de muestreo; hacer la caracterización física, química y mineralógica de los sedimentos; realizar pruebas geoquímicas estáticas y dinámicas para evaluar el impacto ambiental debido al aporte de acidez y carga de metales pesados de los sulfuros presentes en los sedimentos; realizar pruebas de flotación y concentración centrífuga para la separación de los sulfuros y recuperar el estaño de los sedimentos, respectivamente; el análisis y la evaluación de la disposición final de los residuos, producto del tratamiento; diseñar el flujograma de tratamiento de los sedimentos del río, y presentar la propuesta técnica del tratamiento de los sedimentos del río como alternativa de remediación ambiental.

En la figura 5 se ha esquematizado los puntos de muestreo en el sector menos accidentado de este río que arrastra colas con contenidos de sulfuros desde los distritos de Morococala, Santa Fe y Japo.

Figura 5
Esquema de los puntos de muestreo en el río Pairumani-Japo



Fuente: elaboración propia.

La experimentación metalúrgica en sí, con todas las muestras obtenidas en los puntos 1, 2 y 3, se llevó a cabo de acuerdo a:

- Secado de las muestras
- Homogeneización, cuarteo y obtención de muestras representativas, para las diferentes pruebas
- Clasificación en diferentes tamaños de grano
- Flotación de sulfuros
- Concentración centrífuga en Falcon

– Concentración en mesas vibrantes
– Separación magnética

5. Estudio técnico, económico y ambiental

Éstos fueron los pasos que se siguió:

– Diseño del flujograma
– Dimensionamiento de equipos
– Cálculos de costos directos e indirectos (indicadores)
– Evaluación de impactos ambientales

Dentro de las alternativas que pueden darse para la remediación ambiental o mitigación del impacto ambiental en la región, se consideró el *retratamiento de los sedimentos mineralizados depositados en el río*.

Todas las alternativas sugeridas tienden a solucionar esta problemática; sin embargo, las opciones son valoradas sobre la base de varios aspectos como los criterios BAT, BATEA o BATEASA. Pero el criterio que en definitiva permitirá llevar adelante algún proyecto para la remediación ambiental, en nuestras condiciones, será el componente económico. Como es comprensible, cualquier técnica que pretenda aplicarse tendrá un enorme costo económico y si no se consigue algún tipo de financiamiento a fondo perdido será el Tesoro General de la Nación el que deba subvencionar este proyecto.

En consecuencia, los pasos previos para encontrar una justificación técnica y económica principalmente y para demostrar que el proceso del retratamiento es una alternativa objetiva y práctica para la remediación ambiental del área afectada a lo largo del río Japo-Pairumani (principalmente desde Pairumani hasta Aco Aco) se han dado a conocer en los objetivos.

6. Propuesta de desarrollo económico local

Para elaborar esta propuesta se analizó tanto los factores externos (oportunidades y amenazas) y factores internos (fortalezas y

debilidades) que pueden incidir en el proyecto. Se determinó las potencialidades, riesgos, desafíos y limitaciones de las comunidades de Pairumani y Aco Aco; se analizó y evaluó las alternativas de desarrollo productivo, mediante la propuesta de programas, subprogramas y proyectos en la zona.

La metodología para la elaboración de la propuesta de desarrollo económico local tiene tres componentes:

1) Alternativa de conservación, recuperación y protección de la fauna y flora
2) Análisis del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales
3) Análisis socioeconómico-ambiental del área de influencia directa

Estos tres elementos forman parte del planteamiento del objetivo general, los objetivos específicos y la creación de programas, previo planteamiento de las estrategias. Se ha llegado a recomendar proyectos considerados como prioritarios por medio de los subprogramas creados, lo cual se reflejará mediante un flujograma.

La propuesta delinea la forma general, objetivos, estrategias, programas, subprogramas, enfocando con mayor prioridad la elaboración de proyectos de conservación de recursos naturales y de desarrollo productivo. En el mejor de los casos se realizará proyectos que involucren ambos componentes (conservación y desarrollo productivo).

CAPÍTULO III

Diagnóstico ambiental y socioeconómico

1. Diagnóstico ambiental

El departamento de Oruro tiene dieciséis provincias y 35 secciones municipales. Una de ellas es la provincia Pantaleón Dalence, que cuenta con 23.219 habitantes. Bajo su tuición se encuentran los municipios de Huanuni (primera sección), con 19.028 habitantes, y Machacamarca (segunda sección), con una población de 3.134 habitantes. En estos municipios se encuentran las localidades en las que se desarrolló la investigación que se describe en este libro.

Se ubican, pues, en el altiplano central de Bolivia, a 17°58′ de latitud austral con respecto del ecuador y a 17°58′ de longitud occidental con respecto del meridiano de Greenwich. Tienen una extensión de 53.558 kilómetros cuadrados, lo que representa el 4,88% del territorio nacional. Las temperaturas mínimas en la zona suelen ser de 5° centígrados y las máximas de 12,4° centígrados, el promedio es de 9,8° grados centígrados. La precipitación pluvial anual no es mayor de 337,3 milímetros; la humedad relativa mínima es de 38%, de 62% la máxima y de 47% el promedio. Según los índices demográficos, el 49,99% es población masculina y 50,01% es población femenina, la tasa anual de crecimiento es de 0,78 y el índice de fecundidad es de 2,4 hijos por mujer; la tasa de mortalidad infantil alcanza a 55,10 niños por cada mil nacidos vivos; el índice de esperanza de vida es 62,64 años.

El proyecto empezó con un monitoreo a los ríos que forman parte de la cuenca del Lago Poopó, usando criterios de selección como: las condiciones de fondo de cada subcuenca, los aportes de drenaje

ácido de roca a cada fuente, las cargas totales de contaminantes en los ríos, las estaciones de monitoreo estables y la medición de caudales sistemáticos y sin variaciones sustanciales de las corrientes aguas arriba.

En los ríos Morococala, Santa Fe y Japo se situaron trece estaciones; el monitoreo duró veinticuatro meses, de marzo de 1994 a marzo de 1996, pues las frecuencias del muestreo se programaban en función de las variaciones de caudal.

Los parámetros analizados en las estaciones de monitoreo fueron: caudal o mediciones de flujo, pH (potencial de hidrógeno), conductividad eléctrica y temperatura. Las muestras obtenidas se enviaron a laboratorios químicos para que se determinara, según los antecedentes del sector, la existencia de cloro (Cl^{-}), sulfatos ($SO_4^{-2)}$, plata (Ag), cadmio (Cd), cobre (Cu), arsénico (As), fierro (Fe), manganeso (Mg), plomo (Pb), antimonio (Sb), zinc (Zn), níquel (Ni), calcio (Ca), azufre (S), mercurio (Hg), estaño (Sn), sólidos totales, sólidos disueltos y sólidos suspendidos (tablas 2 y 3).

1.1. Valores de fondo de los ríos monitoreados

Como paso inicial, se determinó los valores de fondo de los ríos estudiados para determinar el aporte natural de las rocas madre que componen cada uno de los sistemas hídricos. Los resultados mostraron que los valores de fondo en los ríos no contaminados son mayores a las concentraciones de fondo recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Lo que llamó más la atención fue la presencia de arsénico y antimonio, que en algunas estaciones de monitoreo mostraron concentraciones entre cincuenta a trescientas más que los valores de fondo mundiales. Al respecto, el Proyecto Piloto Oruro concluye: "…No hay ningún río en el área que pueda ser considerado como fuente segura de agua potable, si se usan estrictamente las recomendaciones de directriz de la Organización Mundial para la Salud". El área referida por el estudio es toda la cuenca de los lagos Poopó y Uru Uru.

Tabla 2
Valores de fondo determinados, base para el monitoreo de los ríos

Rango de	pH	Conductividad [mS/cm]	Fe [mg/l]	S [mg/l]	As [mg/l]	Cd [mg/l]	Cu [mg/l]	Mn [mg/l]	Ni [mg/l]	Pb [mg/l]	Sb [mg/l]	Zn [mg/l]
Concentración promedio	**8,1-8,9**	0,3-0,68	0,005 - 1,6	7 - 100	2 – 100	0,02-0,6	0,4 – 10	0,7 – 306	1,0 – 20	0,06 – 5	2 - 30,0	0,4 - 10
Flujo Kg/año			120-220.000	1.200-1.100.000	3-6.500	0,1 - 90	1,3-590	10 - 1.700	3- 340	0,7-840	10-290	5-6.100
23.												

Fuente: PPO 9612, extracto de la tabla 3.1 (“Rangos, promedios y flujos anuales en las estaciones de monitoreo”), págs. 22-23

Tabla 3
Valores de fondo referenciales según normas referenciales internacionales y nacionales

		Fe (mg/l)	SO_4^{-2} (mg/l)	As (mg/l)	Cd (mg/l)	Cu (mg/l)	Mn (mg/l)	Ni (mg/l)	Pb (mg/l)	Sb (mg/l)	Zn (mg/l)
Förstner & Wittman 1983	*Background* mundial de agua fresca	< 0,3		2	0,07	2	<5	0,3	0,2	0,1	0,5
OMS	Agua potable MAC	0,3		10	3	2.000	100	20	10	5	3.000
Clasificación boliviana para agua dulce - máximo permisible en concentraciones (MAC)	Clase A (potable)	0,3	100	50	5	50	500	50	50	10	200
	Clase B	0,3	133	50	5	1.000	1.000	50	50	10	200
	Clase C	1	133	50	5	1.000	1.000	500	50	10	5.000
	Clase D	1	133	100	5	1.000	1.000	500	100	10	5.000

Fuente: PPO 9612, extracto de la tabla 3.1 (“Rangos, promedios y flujos anuales en las estaciones de monitoreo”, págs. 22-23

1.2. Fuentes puntuales de descarga y contaminación

Desde el cierre de la mina Japo en 1989, son las cooperativas mineras las que han emprendido trabajos a pequeña escala en el sector, bombeando agua de mina de manera intermitentemente a los cauces naturales. En el agua bombeada se detectó valores de pH inferiores a 3 y una conductividad eléctrica de 2,18 mS/cm , pero debido a que el flujo era comparativamente escaso y de corta duración, el monitoreo se realizó en pocas ocasiones.

En la mina Santa Fe, el problema para el monitoreo de las aguas fue también encontrar flujos continuos durante periodos prolongados. Se estableció, por lo tanto, que la principal fuente de contaminación hídrica en la zona proviene del distrito de Huanuni.

2. Concentraciones y carga de metales del río Santa Fe

La generación de drenaje ácido de roca (DAR) en la región depende mucho de las condiciones climáticas. La estación seca, de junio a agosto, con baja precipitación anual, favorece la oxidación de los sulfuros de los desmontes y luego la primera lluvia fuerte lixivia grandes cantidades de productos formados en la intemperie que se movilizan y almacenan en la superficie del suelo (tabla 4).

El drenaje ácido de roca se puede detectar con rapidez mediante la medición del pH de los efluentes, lo que a su vez confirma la disolución química de los contaminantes en el agua. Las concentraciones de metales en los drenajes de los ríos, como se muestra en la siguiente tabla 3.3, corroboran la generación de DAR.

Las concentraciones de sulfato, como parámetro de descarga de drenaje ácido de roca, no tienen variación apreciable durante todo el año en el río Japo, debido a que su flujo es muy bajo y es capaz de diluir todo el residuo oxidado; en pocas ocasiones genera un drenaje de pH de entre 2,5 a 4 y una concentración de sulfatos de alrededor de tres mil miligramos por cada litro de agua (3000mg/L).

Tabla 4
Concentración máxima y mínima de contaminantes en los ríos Japo y Santa Fe

Efluente	Ubicación punto de monitoreo	Periodos de monitoreo	pH	Conduct. mS/cm	Valores	Cl- mg/L	SO_4^{2-} mg/L	Ag mg/L	Cd mg/L	Cu mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L	Pb mg/L	Sb mg/L	Zn mg/L	As mg/L
Río Japo	No se cuenta con datos ni información específica															
Río Santa Fe-Japo	La escalera 2,9 Km NE de Pairumani, aguas abajo de la confluencia (material percolado: sustrato de lava, colas piríticas)	8-3-95 27-3-96	3,3	3.780	min. max.	49 189	1.200 3.600	0,01 0,25	0,9 4,8	1,7 7,6	73 910	3,4 34	0,0001 3,2	0,001 1,4	40 190	0,1 0,2
Río Santa Fe-Japo	La escalera 3,5 Km NE de Pairumani, aguas arriba de la confluencia (mat. percolado: sustrato de lava, colas piríticas)	25-8-94 27-3-96	3,4	3.450	min. max.	18 161	2.9 2.200	0,01 0,04	0,6 3,0	0,7 6,5	6.320	5,9 40	0,0001 0,7	0,001 0,8	64 250	5,3 150

Fuente: PPO 9612

En el río Santa Fe, las descargas de DAR son elevadas en relación con su flujo, lo que genera alta concentración de sulfatos pero que disminuye aguas abajo pese a que existen otras fuentes que aportan contaminantes.

Por otro lado, las concentraciones de cobre, hierro y plomo del sistema del río Santa Fe son iguales a las concentraciones de los ríos Japo y Morococala; hay variaciones por encima en zinc y por debajo en cadmio. Durante el año, estas concentraciones se mantienen constantes, a diferencia del plomo, que va disminuyendo durante el arrastre.

Debido a que el transporte de los contaminantes depende del caudal y de las concentraciones en el seno del efluente, se puede verificar que las cuencas del sistema del río Santa Fe y del río Huanuni están altamente contaminadas y drenan grandes cantidades de metal, como muestra la siguiente tabla. Estos valores pueden expresarse en toneladas por año.

Tabla 5
Flujo anual de contaminantes (tonelada por año)

Contaminante	Río Santa Fe	Río Huanuni	Total
Sulfato	20.000,0	20.000,0	40.000,0
Cloruro	590,0	1.000,0	1.590,0
Zinc	1.300,0	530,0	1.830,0
Cadmio	12,0	12,0	24,0
Cobre	13,0	44,0	57,0
Plomo	0,3	2,0	2,3
Arsénico	0,8	0,2	1,0
Antimonio	2,0	5,0	7,0

Fuente: PPO 9612, extractado de la tabla 5.1 ("Flujo anual de contaminantes", pág. 48)

El incremento expansivo de las actividades humanas (agricultura, ganadería, deforestación, minería y otras) modifica continuamente el entorno, destruye determinadas formas vitales de la flora silvestre y los medios de sustentabilidad y capacidad regenerativa, para convertirlas en áreas inapropiadas para todo tipo de actividad biológica productiva.

Debido al uso no planificado e indiscriminado de los recursos naturales, la destrucción de los ecosistemas, además de los cambios climáticos ocurridos en las últimas décadas en gran parte del altiplano boliviano y en especial en el ecosistema del lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y los salares (TDPS), varias especies endémicas de flora, de inmenso valor ecológico, están incluidas en alguna categoría de amenaza. Las listas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) sobre flora registran que en el sistema TDPS existen alrededor de cuatro especies con alguna categoría de amenaza.

Están amenazadas la lampaya (*Verbenaceae*), de endemismo puneño (Navarro 1993), la *Parastrephia* y la *Chersodoma* (*Compositae*), de endemismo genérico puneño (Cabrera y Willink 1973). La extrema aridez del área es apropiada para la presencia de especies endémicas como la *Chersodoma* cándida y la *Chersodoma jodopappa* (Cabrera 1978 en García y Valdivia 1998), que están tan amenazadas como las especies endémicas altiplánicas *Atriplex nitrophiloides* y *Sarcorconia pulvinata* (Navarro y Maldonado 2002).

Por la fragilidad y alto grado de degradación del ecosistema, los *queñuales* (bosques de queñua - *Polylepis*) han sido los más devastados desde la época de la colonia. Los yaretales (*Azorella* compacta) existen sólo en sectores reducidos del parque nacional Sajama y han desaparecido del resto de la cuenca. Los cactus, de diferentes clases, se distribuyen de manera restringida en la zona y son también muy usados en las actividades humanas.

Por otro lado, la contaminación minera ha dejado sus huellas en el desarrollo económico y humano de los habitantes de la zona. En las encuestas realizadas para este estudio, el 80% de los hogares afirma haber percibido la contaminación de sus lugares, el 54% confirma que son los suelos los que se ven más afectados, el 13% que son las plantas y el 16% que son los animales. El 32% responsabiliza por esto a las aguas de *copajira*,[1] el 24 % a la basura y descargas orgánicas, el 17% menciona que son los desmontes y "colas", el 47% confirma que

1 Aguas utilizadas en la minería, contaminadas por ácidos, metales pesados y otros.

ha evidenciado problemas en el agua y el 45% censura a la actividad minera por ocasionar cambios drásticos en el entorno, que el 43% ha verificado.

En las localidades de Aco Aco y Pairumani, la realidad no es muy diferente. La contaminación con metales y reactivos en aguas y suelos impide una producción agrícola satisfactoria, a lo que se suma la intensa radiación ultravioleta de la atmósfera y las temperaturas nocturnas bajo cero que ocasionan heladas que fulminan a las plantas.

Por otro lado, las colas depositadas en los lechos de los ríos Morococala, Santa Fe y Japo están mezcladas con sedimentos aluviales naturales cuyos componentes contaminan el agua que desemboca al lago Poopó y están expuestos a descargas de drenaje ácido de roca (DAR).

Si bien en épocas pasadas había fauna acuática en los ríos, estos estudios le han dado el certificado de defunción.

3. Evaluación de impactos ambientales

La identificación de los impactos permite detectar los efectos negativos o positivos que podrían haber ocurrido en la parte baja de la subcuenca de Pairumani (comunidades de Aco Aco y Pairumani) como resultado de las actividades mineras en los centros mineros de Japo, Morococala y Santa Fe (parte alta de la subcuenca). En principio se los analiza sin considerar las medidas de mitigación.

El grado de los impactos sirve para analizar el desarrollo de los impactos mientras se desarrollan las actividades de los centros mineros antes mencionados. Se los ha analizado dando un juicio de valor que permite discriminar los que son importantes de los que no lo son. Aquellos con mayor impacto potencial recibirán la prioridad más alta en el momento de plantear soluciones.

En las tablas 6 y 7 se encuentra las matrices de evaluación de impactos por actividades en los centros mineros, con criterios calificables cualitativa y numéricamente. Por otro lado, se ha realizado una selección de la significancia de impacto ambiental por actividades, categorizando como impacto bajo, medio y alto según sea el caso. La

evaluación de los impactos se realizó comparando las condiciones del diagnóstico de los recursos. Aunque los impactos se evaluaron por actividad, los impactos residuales (después de la mitigación) no se excluyen mutuamente y tienen que ser analizados.

A continuación se detallan los recursos ambientales bióticos y abióticos que presentan los efectos de mayor significancia por actividad, factor ambiental y subfactor:

3.1. Desmonte (residuos sólidos)

Ambiente terrestre

a. Fisiografía y suelos

La morfología y la fisiografía de los suelos cambian con las actividades mineras, que generan desmontes y con ello movimiento de vehículos y maquinaria pesada. Por eso es que se considera a esta actividad de carácter negativo, de incidencia directa, temporal, localizada, próxima y en el tiempo de actividades, irreversible. Pero al concluir sus actividades se considera que el impacto es recuperable, acumulativo. La evaluación de impacto ambiental de -15, calificación alta.

b. Vegetación

El impacto sobre este factor tiene una evaluación ambiental de -15, también alta. La incidencia es directa, temporal, localizada, próxima, en el tiempo del proyecto irreversible, pero con potencial de recuperabilidad.

Hidrología y recursos hídricos

a. Aguas superficiales

Los impactos sobre las aguas superficiales son negativos, de incidencia directa pero temporal si existe un proceso de tratamiento de aguas y control de desmontes (por ejemplo un dique de colas), de superficie extendida, área de impacto próximo, comportamiento reversible, pero sinérgico. Tiene una evaluación de impacto ambiental de -15, alta.

Tabla 6
Matriz de evaluación de impactos
(criterios calificables cualitativamente)

			Criterios calificables cualitativamente							
Actividades	**Factor ambiental**	**Subfactor**	**a. Carácter**	**b. Incidencia**	**c. Efecto**	**d. Superficie afectada**	**e. Áreas afectadas**	**f. Conse-cuencias**	**g. Recupera-ción**	**h. Otros**
Desmonte (residuos mineros)										
	Ambiente terrestre	Calidad del aire	-	D	T	L	PR	R	RE	AC
		Fisiografía y suelos	-	D	P	L	PR	IR	RE	AC
		Vegetación	-	D	P	L	PR	IR	RE	AC
		Fauna	-	I	T	L	PR	R	RE	AC
	Hidrología y recursos hídricos	Aguas superficiales	-	D	T	E	PR	R	RE	S
		Uso de recursos hídricos	-	D	T	E	PR	R	RE	S
	Recursos sociales, económicos y culturales	Aspectos sociales y culturales	-	I	T	E	A	R	RE	AC
Generación de colas (arenas de cuarzo y piritas)										
	Ambiente terrestre	Fisiografía y suelos	-	D	T	E	A	R	RE	AC
		Vegetación	-	D	T	E	A	R	RE	AC
		Fauna	-	I	P	L	PR	R	RE	AC
	Hidrología y recursos hídricos	Aguas superficiales	-	D	P	E	A	IR	RE	S
		Uso de recursos hídricos	-	I	P	E	A	IR	RE	AC
	Recursos sociales, económicos y culturales	Aspectos sociales y culturales	-	I	T	E	A	R	RE	AC
		Arqueología	-	D	P	L	A	IR	IE	S

Fuente: DPIC - UTO, 2009

a. + = positivo; - = negativo
b. D = directa; I = indirecta
c. P = permanente; T = temporal
d. E = extendido; L = localizado
e. A = alejado; PR = próximo
f. IR = irreversible; R = reversible
g. IE = irrecuperable; RE = recuperable
h. AC = acumulativo; S = sinérgico

Tabla 7
Matriz de evaluación de impactos (criterios calificables numéricamente)

Actividades	Factor ambiental	Subfactor	Criterios calificables numéricamente								
			b. Incidencia	c. Efecto	d. Superficie afectada	e. Áreas afectadas	f. Consecuencias	g. Recuperación	h. Otros	Suma	Significancia del impacto ambiental
Desmonte (residuos mineros)											
	Ambiente terrestre	Calidad del aire	3	1	1	1	1	1	3	11	Media
		Fisiografía y suelos	3	3	1	1	3	1	3	15	Alta
		Vegetación	3	3	1	1	3	1	3	15	Alta
		Fauna	1	1	1	1	1	1	3	9	Media
	Hidrología y recursos hídricos	Aguas superficiales	1	3	3	3	3	1	1	15	Alta
		Uso de recursos hídricos	1	3	3	3	3	1	1	15	Alta
	Recursos sociales, económicos y culturales	Aspectos sociales y culturales	1	1	3	3	1	1	3	11	Media
Generación de colas (arenas de cuarzo y piritas)											
	Ambiente terrestre	Fisiografía y suelos	3	1	3	3	1	1	3	15	Alta
		Vegetación	3	1	3	3	1	1	3	15	Alta
		Fauna	1	3	1	1	1	1	3	11	Media
	Hidrología y recursos hídricos	Aguas superficiales	3	3	3	3	3	1	1	17	Alta
		Uso de recursos hídricos	1	3	3	3	3	1	3	17	Alta
	Recursos sociales, económicos y culturales	Aspectos sociales y culturales	1	1	3	3	1	1	3	13	Media
		Arqueología	3	3	1	3	3	3	1	17	Alta

Fuente: DPIC - UTO, 2009; Suma: Alta: $\sum \geq 15$; Media: $7 < \sum < 15$; Baja: $\sum \leq 6$

b. Uso de recursos hídricos

En general los impactos sobre el uso de recursos hídricos son negativos, de incidencia directa pero temporal si existe un proceso de tratado de aguas, de superficie extendida, área de impacto próximo, comportamiento reversible, pero sinérgico. Tiene una evaluación de impacto ambiental de -15 (alta).

3.2. Generación de colas (arenas de cuarzo y piritas)

Ambiente terrestre

a. Fisiografía y suelos

Al igual que en la actividad de desmontes, la generación de colas por actividades mineras produce en la fisiografía y suelos del lugar un impacto negativo, de incidencia directa, temporal, expandido, alejado, reversible, con el tiempo recuperable, pero acumulativo. La evaluación es de -15 (alta).

b. Vegetación

Tiene una evaluación ambiental de -15 (alta) por ser de carácter negativo, de incidencia directa, temporal, expandida, alejada, reversible, pero con potencial de recuperabilidad.

Hidrología y recursos hídricos

a. Aguas superficiales

Los impactos sobre las aguas superficiales son negativos, de incidencia directa, permanentes a corto y mediano plazo, superficie extendida, área de impacto alejada (en toda la subcuenca), comportamiento irreversible a corto plazo, pero recuperable a largo plazo, sinérgico. Tiene una evaluación de impacto ambiental de -17 (alta).

b. Uso de recursos hídricos

Los impactos sobre el uso de recursos hídricos son negativos de incidencia indirecta, pero permanente a corto y mediano plazo, superficie extendida, área de impacto alejada (toda la

subcuenca), comportamiento irreversible mientras sigan las actividades mineras con las características antes mencionadas, pero con el tiempo recuperable, sinérgico. Tiene una evaluación de impacto ambiental de -17 (alta).

Recursos sociales, económicos y culturales

a. *Arqueología*

La riqueza arqueológica de la zona de estudio se habrá perdido si no se actúa pronto. El impacto ambiental tiene una incidencia negativa, directa, permanente, localizada, alejada (a lo largo de todo el río de la subcuenca), irreversible (porque son materiales antiguos, en algunos casos pinturas en las rocas), irrecuperable (a no ser que se actúe de inmediato), sinérgica. El impacto ambiental es alto (-17).

4. Evaluación global de las actividades mineras en la zona de estudio

La tabla 8 es una evaluación de todas las actividades realizadas por los centros mineros (una vista global), es también un resumen simple de la evaluación ambiental. Presenta los valores promedios de cada factor de impacto durante las actividades de los centros mineros (promedio a), que cuantifica el impacto a lo largo de las actividades realizadas (valor dividido entre 8). Los valores promedios por actividad (promedio b, b* y b**) tienen el fin de reflejar los valores relativos y la afectación calculada para el recurso en cada una de las actividades (suma de la evaluación de impacto ambiental, de los factores de impacto dividido por la cantidad de los mismos). El valor en negrilla (interacción entre la fila promedio "a" y la columna promedio "b") refleja el impacto global sobre cada recurso por actividad minera realizada.

Tabla 8
Evaluación ambiental por recurso, fase y global del proyecto

Evaluación ambiental promedio										
		Movilización de maquinaria	Instalación y operación de campamento minero	Explotación y extracción de minerales	Corte y relleno	Desmontes (residuos mineros)	Procesamiento de mineral gravimétrico	Procesamiento de mineral pro flotación selectiva	Generación de colas	
Recurso	Factor de impacto	Ejecución								Promedio a
Ambiente terrestre	Clima	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Calidad de aire	0	0	0	0	11	0	0	0	-1,38
	Ruido ambiental	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Geología	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fisiografía y suelos	0	0	0	0	15	0	0	15	-3,75
	Uso y tenencia de suelos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vegetación	0	0	0	0	15	0	0	15	-3,75
	Fauna	0	0	0	0	9	0	0	11	-2,50
	Promedio b	0	0	0	0	-6,25	0	0	-5,12	**-1,42**
Hidrología y recursos hídricos	Aguas superficiales	0	0	0	0	15	0	0	17	-4,00
	Aguas subterráneas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Uso de recursos hídricos	0	0	0	0	15	0	0	17	-4,00
Promedio b*		0	0	0	0	-10,0	0	0	-11,33	**-2,67**
Recursos sociales, económicos y culturales	Aspectos sociales y culturales	0	0	0	0	11	0	0	13	-3,00
	Empleo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Comercio	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Infraestructura y servicios	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Arqueología	0	0	0	0	0	0	0	17	**-2,12**
Promedio b**		0	0	0	0	-2,20	0	0	-6,00	**-1,03**
	Suma B	**0**	**0**	**0**	**0**	**-6,15**	**0**	**0**	**-7,48**	**-1,71**

Fuente: elaboración propia.

4.1. Ambiente terrestre

El ambiente terrestre y todos sus factores tiene impactos ambientales negativos (tabla 8, promedio a), excepto clima, ruido ambiental, geología y uso de tenencia de suelos, y tiene un promedio global de -1,42 (interacción fila promedio b y columna promedio a). Si se hace un análisis global de las actividades sobre el ambiente terrestre, se tiene que siguen existiendo impactos ambientales negativos que afectarán con mayor significancia a la fisiografía, los suelos y la vegetación y, con menor grado, a la fauna.

4.2. Hidrología y recursos hídricos

Se observa en la tabla 8 que el impacto con mayor significancia se da en las aguas superficiales y en el uso de los recursos hídricos (promedio a), aunque este último es consecuencia del primero (promedio a). El promedio global del impacto ambiental en hidrología y recursos hídricos es de -2,67 (interacción promedio b* y promedio a).

4.3. Recursos sociales, económicos y culturales

En la tabla 8 se observa que el menor factor de impacto se da en los aspectos sociales y culturales y en la arqueología (promedio a). El promedio global es de -1,03.

En este sentido, y teniendo en cuenta los valores del estudio de impactos ambientales determinados en este libro, se puede concluir que las actividades realizadas por los centros mineros (parte alta de la subcuenca) tienen mayor impacto ambiental en la hidrología y recursos hídricos, luego en el ambiente terrestre y finalmente en los recursos sociales, económicos y culturales.

Los factores más afectados son aguas superficiales, el recurso hídrico, la fisiografía y los suelos, la vegetación, los aspectos sociales y culturales, la fauna, la arqueología y la calidad del aire.

5. Diagnóstico socioeconómico

Comúnmente, la cantidad de los pobladores que se encuentra en las localidades es menor que las cifras estadísticas y los datos

presentados por los municipios y las unidades gubernamentales correspondientes. Durante la investigación, sólo en la localidad de Morococala se logró superar el tamaño de muestra establecido; en Japo se encontró algo más del 65% de pobladores previstos porque muchas familias residen permanente en la ciudad de Oruro debido principalmente a la susceptibilidad de una caída del precio de los minerales; en Santa Fe no se halló más de treinta cooperativistas que con mucha dificultad permanecen en el sector porque la calidad del mineral que extraen no es muy rica.

Tabla 9
Cobertura del tamaño de muestra en las encuestas

Localidad	Morococala	Santa Fe	Japo	Aco Aco	Pairumani
Tamaño de la muestra	80	41	95	54	
Número de entrevistados	80	26	65	13	7

Fuente: elaboración propia.

La tabla 9 refleja la cantidad de entrevistas realizadas durante la investigación. La cobertura fue menor en las localidades de Aco Aco y Pairumani porque sus características difieren considerablemente de las localidades mineras ya mencionadas. La falta de transporte y de condiciones adecuadas para un desarrollo urbano ha generado que muchas familias migren del lugar a las ciudades o centros más poblados; sin embargo, retornan al lugar en épocas de cosecha y siembra para mantener una actividad agrícola permanente. Eso permite generar ingresos intermitentes para los dueños de los terrenos que todavía existen.

En las localidades mineras de Morococala, Santa Fe y Japo la población depende estrechamente de la producción minera y de la cotización de los minerales; la diferencia entre estas localidades es el tipo de mineral que se explota y las vetas existentes en sus socavones. Por esta razón, la población de Santa Fe soporta más necesidades y la cooperativa que opera en el lugar no cuenta con muchos socios porque sólo explota complejos de plata, plomo y zinc, cuyos precios sufrieron caídas notables en la pasada gestión. En contraste, en Morococala y Japo el principal producto minero es el estaño de buena ley, que genera notables beneficios a sus habitantes y hace que las

familias se asienten en la zona o retornen las que se han ido; las necesidades de esta población generan a su vez servicios e importante movimiento económico.

Aguas abajo, la situación en las localidades de Aco Aco y Pairumani refleja la realidad de la mayoría de las comunidades agrícolas del altiplano: un gran porcentaje de sus habitantes sólo visita el lugar en épocas de siembra y cosecha, los recursos no retornan a las poblaciones y sólo sirven como apoyo a la subsistencia de ancianos y adultos que ya no tienen posibilidades de encontrar ocupación en las ciudades. Por esta razón, la cantidad de habitantes encontrados en la zona fue menor al 50% esperado.

Sobre la base de los resultados obtenidos en cada una de las localidades y de su comparación, se ha podido establecer que el área de estudio se puede subdividir en dos zonas con realidades y características demográficas, sociales y económicas totalmente diferentes, donde el único factor común es el componente ambiental.

La zona A (las localidades mineras) se ubica en el nacimiento de la subcuenca conformada por las localidades de Morococala, Santa Fe y Japo. Esta zona es la que genera contaminación ambiental porque allí se encuentran las principales fuentes de generación de drenaje ácido de roca que contamina las aguas.

La zona B (las localidades aguas abajo de la subcuenca) está conformada por las comunidades agrícolas de Aco Aco y Pairumani; el mayor impacto ambiental se da en este sector puesto que las aguas que fluyen por los ríos, además de tener ya características ácidas, depositan los sedimentos arrastrados desde el sector minero.

Hay gran movimiento de población que depende de la actividad minera; la minería ejerce gran influencia para que las familias se instalen o migren de las localidades. En gran porcentaje se trata de familias íntegras, familias jóvenes con un número de componentes mayor a los promedios departamentales, con hijos niños o adolescentes que dependen únicamente de los ingresos del jefe de hogar, que es el padre. Cuando la jefatura de hogar la ejercen las madres, la cantidad de miembros alcanza porcentajes más bajos, lo que se

debe principalmente a la viudez por la inseguridad de los trabajos en interior mina.

En las localidades de Aco Aco y Pairumani, el movimiento de población no es reciente. Las precarias condiciones del lugar han generado la migración de las familias jóvenes, sólo los ancianos que decidieron quedarse permiten la subsistencia de la actividad agrícola, resguardando además los terrenos de sus hijos, que sólo retornan al lugar en épocas de siembra y cosecha.

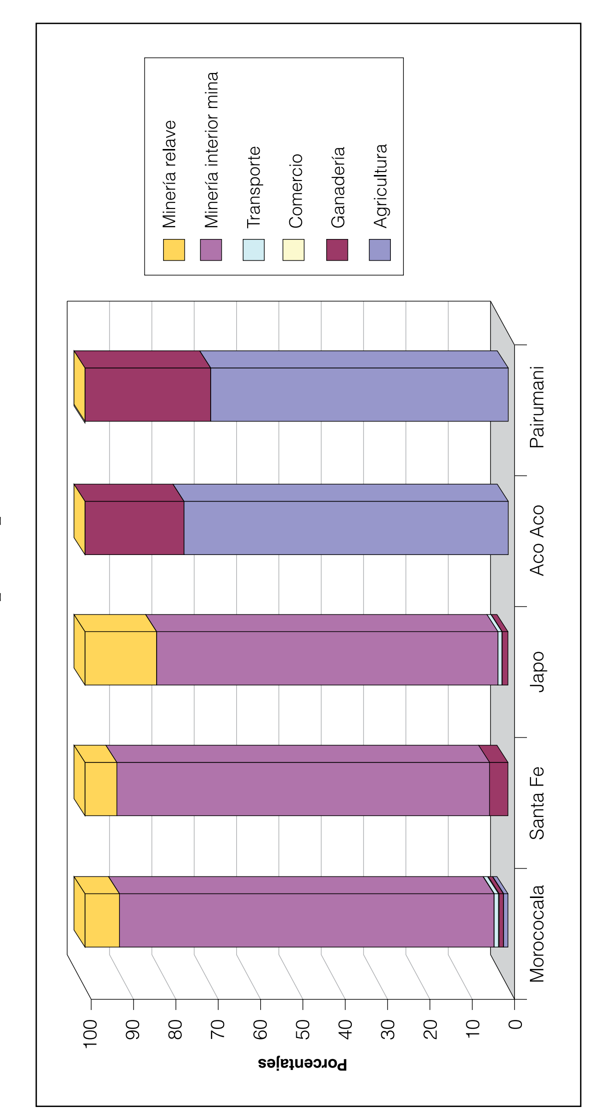
En cuanto a instrucción y calidad de la educación, las localidades mineras cuentan con centros educativos hasta el nivel secundario y muestran bajos índices de abandono escolar; si bien los padres que tienen instrucción media a superior incentivan a sus hijos a buscar formación profesional en las universidades, en general la falta de dinero y el matrimonio temprano hacen que los jóvenes busquen trabajo antes que continuar estudios universitarios.

Las limitaciones en Aco Aco y Pairumani empiezan por la calidad de educación. Para continuar estudios secundarios, la mayoría de los jóvenes debe separarse de su hogar; una vez bachilleres tienen muy pocas posibilidades de continuar estudios universitarios, principalmente por limitaciones económicas; sólo aquellos jóvenes cuyos padres desarrollan otras actividades fuera de la localidad cuentan con esa posibilidad.

Similar deficiencia se encuentra en el acceso a los servicios básicos. Las localidades mineras cuentan con servicios de energía eléctrica, baños higiénicos, agua potable, centros de salud con personal permanente. Posiblemente, todos estos servicios sólo tengan una calificación regular pero son muchísimo mejores que los de las localidades de Aco Aco y Pairumani.

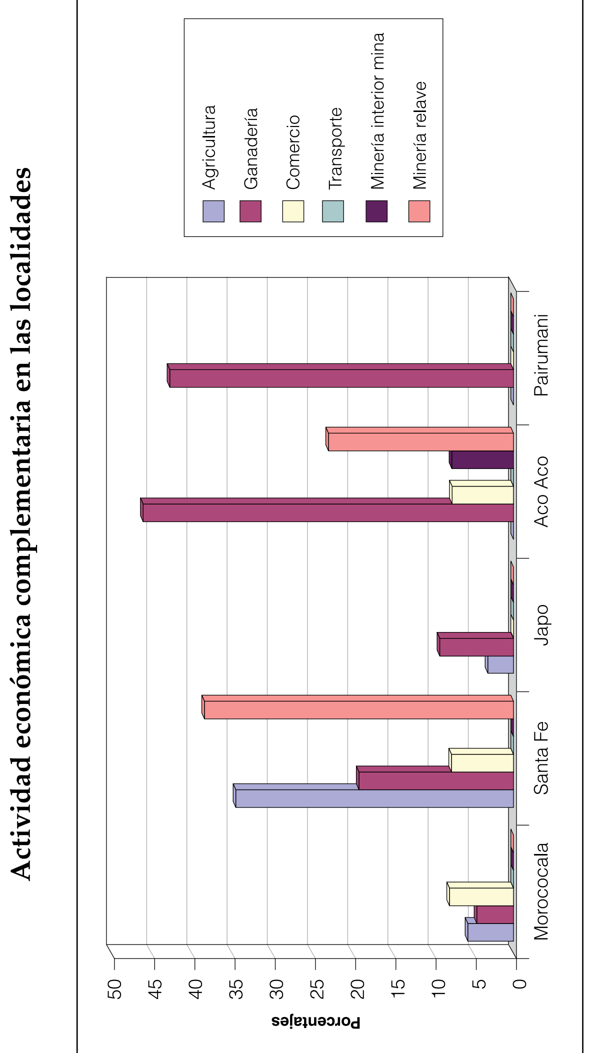
Las actividades principales son la minería para la zona de influencia A y la agricultura para la zona de influencia B, como puede apreciarse en la gráfica 1, donde además se tiene un fuerte componente en actividad pecuaria. Entre estas actividades se van alternando como actividades complementarias el trasporte, el comercio y las actividades de servicios, con un comportamiento que puede verificarse en la gráfica 2.

Gráfica 1
Actividad económica principal de las localidades



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2
Actividad económica complementaria en las localidades



Fuente: elaboración propia.

Los principales productos mineros son el estaño y complejos de plata, plomo y zinc; entre los principales productos agrícolas están haba, papa, oca, alfalfa y cebada. En la tabla 10 se muestra el detalle.

Tabla 10
Productos principales de las localidades

Productos principales	Morococala	Santa Fe	Japo	Aco Aco	Pairumani	Detalle
Mineral	89,8%	80,8%	98,5%	0,0%	0,0%	Estaño o complejo de Ag, Zn, Pb
Alimentos/comida	0,0%	0,0%	0,0%	15,4%	0,0%	Haba y queso, comida para comercializar
Ropa	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	Confección de ropa de trabajo
Venta de artefactos	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	Radios, celulares, cocinas, refrigeradores, computadoras
Carne	0,0%	0,0%	0,0%	23,1%	0,0%	Carne de llama, de oveja, de res
Leche y derivados	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	14,3%	Queso, leche, quesillo
Verdura	1,1%	0,0%	0,0%	76,9%	100,0%	Haba, cebolla, arbeja, hortalizas
Tubérculos	1,1%	7,7%	0,0%	69,2%	100,0%	Papa, oca, chuño
Tejidos/lana	0,0%	0,0%	0,0%	15,4%	0,0%	Lana de oveja, de llama, chompas, medias
Cuero	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	0,0%	Cuero de res y de oveja
Agregados	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	Arena y grava para construcción
Otros	0,0%	0,0%	0,0%	7,7%	0,0%	Cebada

Fuente: elaboración propia.

Hay una variedad de productos secundarios entre los que están la producción de carne de res, oveja y llama, lana, leche y derivados lácteos, prendas de vestir y otros. En todas las localidades de la subcuenca está presente el componente agrícola y pecuario.

Los ingresos económicos de las localidades mineras hacen que podamos referirnos a este sector como fuera de los umbrales de pobreza, ya que sus ingresos alcanzan un promedio superior a los mil bolivianos por mes. Contrariamente a esto, su baja calidad de vida se debe a que la población no tiene visión futura de permanecer en el lugar, su permanencia está en función de la producción del mineral. En las localidades de Aco y Pairumani, los ingresos económicos por familia no sobrepasan de quinientos bolivianos al mes, por lo que el sector está en el lumbral de pobreza y la migración es la única solución hasta el momento. Esta información está claramente identificada en la gráfica 3.

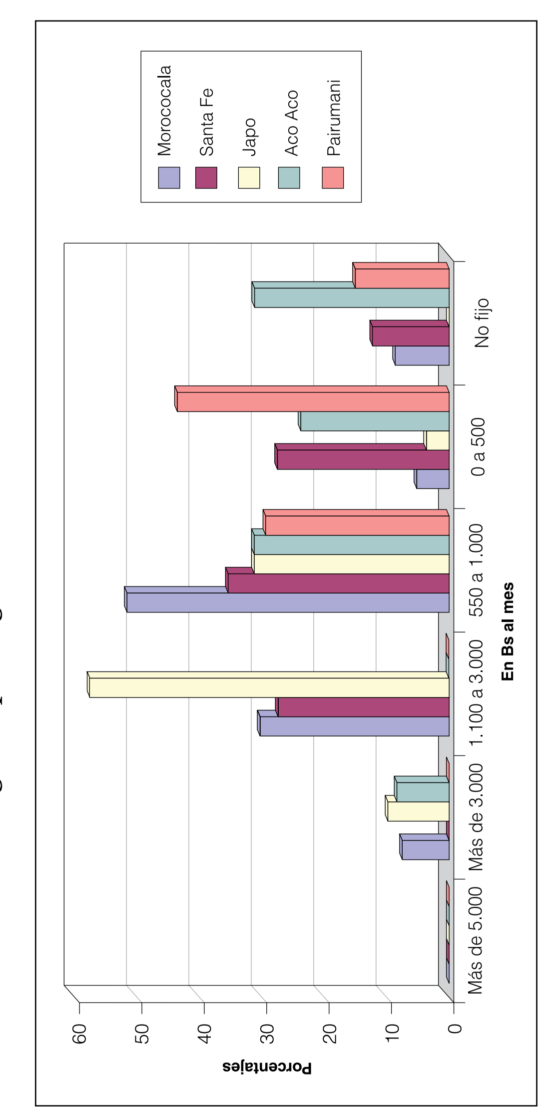
El principal problema común entre las dos zonas es la contaminación por las aguas que contienen sedimentos mineros; arriba de la subcuenca la actividad de las localidades genera estas aguas y abajo de la subcuenca son las localidades las que se ven más afectadas. En consecuencia, una de las primeras necesidades es el tratamiento de las aguas ácidas que fluyen desde aguas arriba y luego la eliminación de los sedimentos aguas abajo.

Por otro lado, la ausencia de proyectos locales de desarrollo para cada uno de los sectores es una de las debilidades sobre la que deberían actuar propios y extraños; en las localidades mineras el deterioro de los servicios básicos es evidente y no se cuenta con planes que busquen su mejoría. En Aco Aco y Pairumani no existe proyecto a diseño final para la colecta de aguas o remediación de la zona.

Entre los potenciales económicos del área está el turismo, que cuenta con el apoyo de los habitantes toda vez que la subcuenca esta conectada también por caminos antiguos que muestran yacimientos arqueológicos interesantes.

Se indagó sobre los factores que más influyen para que la familia pueda seguir viviendo en la localidad. En las localidades mineras —como era de esperar— es la existencia de trabajo y la alta producción de la mina, que indirectamente se liga a la cotización del mineral; pocos son los hogares que identifican factores como el acceso a la educación o las condiciones adecuadas para vivir en estos distritos mineros.

Gráfica 3
Ingresos por hogar en la zona de estudio



Fuente: elaboración propia.

En las localidades de Aco Aco y Pairumani hay mayor interés por fomentar una mejor agricultura, lo que también refleja la necesidad de mantener fuentes de trabajo. Sólo en la localidad de Pairumani se mencionó el componente ambiental como factor para que los hogares mantengan su residencia en la localidad; en visión de sus pobladores, se evidencia cada vez más el impacto de la contaminación.

Las necesidades son diversas y variadas, desde la implementación de servicios básicos hasta la gestión adecuada de las autoridades. Se identificó debilidades en el sector de comunicación y transporte, en educación, en servicios y asistencia de salud, donde se evidencia que cada una de las localidades tiene sus propias características, intereses y necesidades.

En el caso de Morococala, de las varias necesidades expuestas por los encuestados, el apoyo técnico alcanzó el 15,9%, la instalación del servicio de alcantarillado 10,2% y mejorar el medio ambiente 9,1%. Son las necesidades que sobresalen del diagnóstico. La particularidad de esta localidad es que, en comparación con las otras, tiene mayor número de necesidades según la cantidad de hogares que demandan más y mejores condiciones de vida. Resaltan también factores como una mayor inversión para la producción minera, el equipamiento de un hospital, la necesidad de tener proyectos locales que fortalezcan el desarrollo, el mejoramiento de infraestructura, el mejoramiento del servicio de transporte y factores ambientales donde se especifica que es necesario eliminar las aguas de *copajira*, crear áreas verdes, parques y la limpieza, reciclaje y eliminación de la basura generada.

En la localidad de Santa Fe, las necesidades mayores son el equipamiento de un hospital (en opinión del 34,6% de los encuestados) y el mejoramiento de la educación (30,8%); por otro lado, con valores inferiores también se presenta la necesidad de la instalación del servicio de alcantarillado, el incentivo para la realización de ferias comerciales, el mejoramiento de caminos, mayores fuentes de trabajo, componentes ambientales como la limpieza de la localidad y la generación de áreas verdes y parques; sobresale también la necesidad de apoyo técnico para la producción minera.

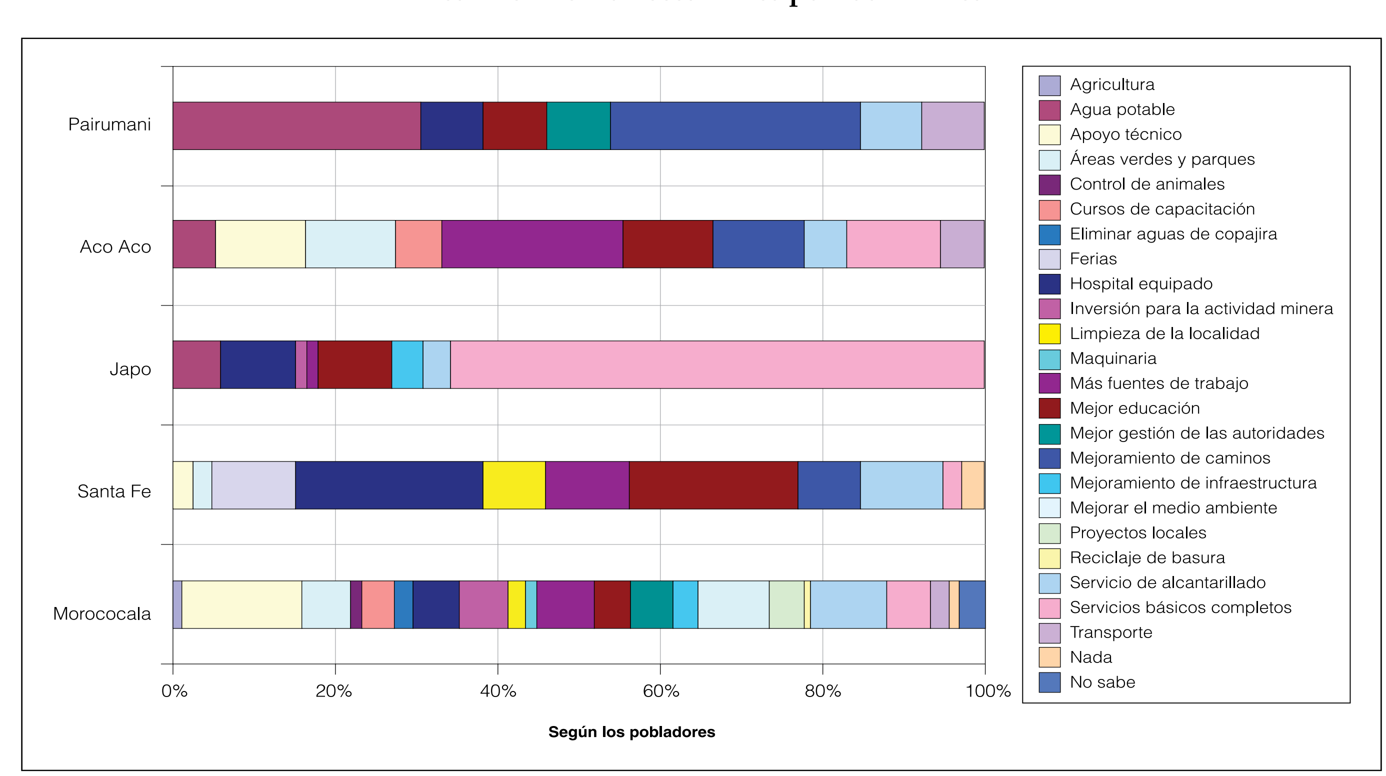
En la localidad de Japo, los encuestados manifiestan su imperiosa necesidad de contar con servicios básicos completos (sistema de alcantarillado, abastecimiento de agua potable y limpieza y recojo de basura), lo que representa el 84,6%. Con menores valores se manifiesta la necesidad de equipamiento de un hospital, el mejoramiento de infraestructura en todos los ámbitos, mayores fuentes de empleo y mayor inversión en la producción minera.

En Aco Aco, la necesidad más importante de sus habitantes es más fuentes de trabajo (30,8%), aunque la zona no cuenta con muchas posibilidades para realizar actividades diferentes a las principales. La población requiere también apoyo técnico para producción agrícola y pecuaria (para combatir plagas y enfermedades), mejorar la educación y caminos (actualmente en malas condiciones), incrementar servicios de transporte y dar servicios de agua potable y alcantarillado.

En Pairumani, el mejoramiento de caminos y la disponibilidad de agua potable como necesidades principales reflejan las condiciones de vida que el sector debe soportar: el río Pairumani cruza la localidad, pero está completamente contaminado ya que sus tributarios principales, el río Santa Fe y el río Japo, arrastran la contaminación desde las localidades mineras. Valores inferiores asignan sus pobladores a las necesidades de mejorar el servicio de transporte, la educación y el servicio de salud, la instalación del servicio de alcantarillado y la mejor gestión de sus autoridades (gráfica 4).

En la perspectiva de hacer de los pobladores los principales actores del desarrollo de las localidades, sobre la base de sus vivencias, necesidades e intereses, se identificó qué otros componentes y actividades pudieran desarrollarse en cada una de las localidades para generar fuentes de ingresos. Lo común es el turismo, cuyo potencial se ha podido verificar tanto en las rutas antiguas que construyeron las viejas empresas mineras como en los ecosistemas de las zonas de influencia. De la misma manera, la ganadería y la agricultura aparecen como actividades que los encuestados consideran importantes. La existencia de agua y la calidad y potencial de los suelos hacen pensar que, con un adecuado tratamiento del líquido elemento, estas actividades pueden generar fuentes de empleo.

Gráfica 4
Resumen de las necesidades por localidades



Fuente: elaboración propia.

También se señaló la necesidad de realizar ferias que promuevan el comercio de artículos y productos de las mismas localidades y sus alrededores; las artesanías también atraen a los pobladores como actividad potencial. De esta manera, tanto en las gráficas 4 y 5 se tiene una equivalencia entre necesidades y actividades que se pueden desarrollar. Su relación ha facilitado de gran manera el diseño y justificación de nuestra propuesta.

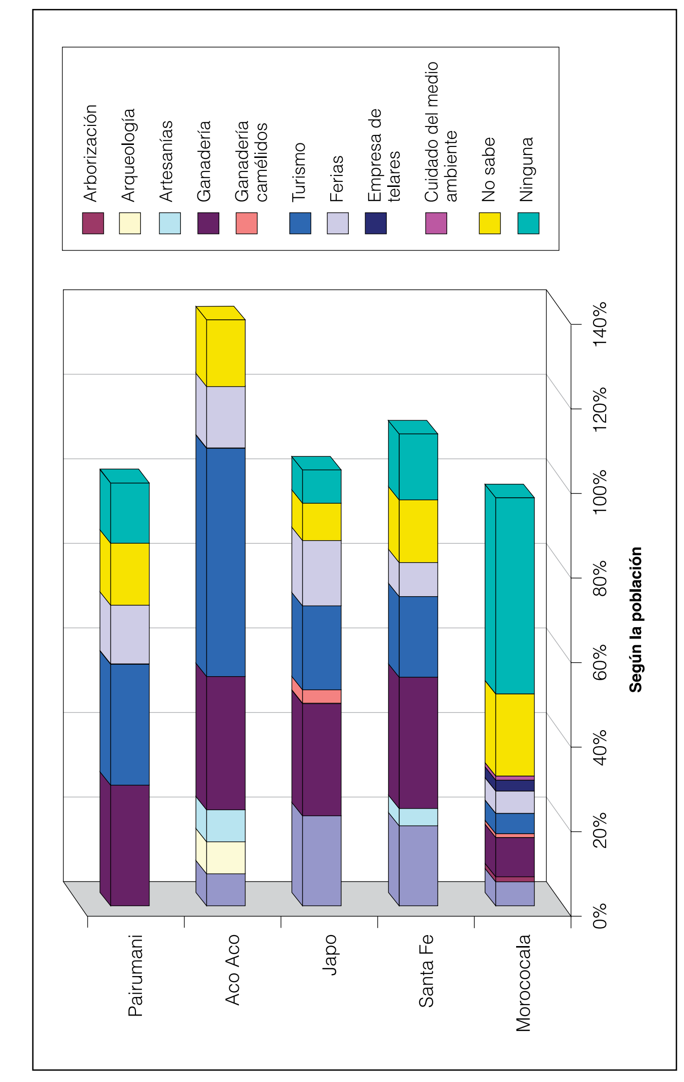
6. Resultados del diagnóstico del desarrollo productivo de las localidades al final de la subcuenca

El tamaño y el uso de la tierra en la comunidad de Aco Aco están de acuerdo con la organización, distribución y uso de los terrenos. Constituyen el eje central de la organización las parcelas familiares y los terrenos de la comunidad. Las áreas cultivables están divididas en *mantas*. La *manta* es un terreno suficientemente extenso en el que toda las familias de la comunidad tiene derecho a una parcela de tenencia individual. La actividad agrícola está concentrada y estratificada de acuerdo con el tipo de suelo, existe rotación en el uso del terreno. En todo eso se considera tierras para pastoreo, tierras para cultivo y tierras contaminadas, esto último producto de la actividad minera en las zonas altas (Japo, Santa Fe y Morococala). Los comuneros de Aco Aco ven con mucha preocupación que con el paso del tiempo el río Pairumani se vaya ensanchando y disminuya la cantidad de terreno apto para la agricultura y la pecuaria.

La superficie cultivable de la zona es de 740 hectáreas, aproximadamente. El 100% se cultiva a secano; no hay sistemas de riego, con excepción de algunas acequias rudimentarias.

Hay una extensión considerable (2.081 hectáreas) no aprovechada forestalmente. Las principales especies forestales que pueden generar aprovechamiento o bien sólo constituir paisaje son: la *Parstrephya sp.* y la *Bouteloa sp.*, especies propias del lugar. Entre las especies forestales introducidas se ve una adaptación de *Pinus sp.*, *Olmus sp.*, *Populus sp.*, como principales.

Gráfica 5
Actividades que pueden desarrollarse en las localidades



Fuente: elaboración propia.

Las comunidades de Aco Aco y Pairumani se dedican a la producción forrajera (*Hordeum vulgare* y *Medicago sativa*, esta última en menor proporción) y agrícola (*Vicia faba y Solanum tuberosum)*, donde la primera es la más intensiva. Su sistema de producción agrícola es manual y con tracción animal, la tracción mecanizada es muy poco practicada. Los comuneros de la zona han optado por el sistema manual para la producción de forraje y cultivos porque los terrenos están ubicados en laderas, en la mayoría de los casos.

La producción forrajera es la de mayor importancia en la zona; las principales especies son *Hordeum vulgare* (cebada) *y Medicago sativa* (alfalfa) para la alimentación de vacas, ovejas y llamas. Las praderas nativas son aptas para la crianza de ovejas y llamas, estas últimas con fuerte potencial de desarrollo local. Sin embargo, el recurso hídrico es una limitante; es necesario implementar sistemas de captación de aguas, en especial de las producidos por la precipitación pluvial y que vienen de vertientes.

La cría de llamas ocupa la mayor parte de la producción pecuaria en las comunidades de Aco Aco y Pairumani, luego la de ovejas y en menor cantidad la de vacas.

Los productores de Aco Aco no cuentan con tecnología apropiada y al mismo tiempo carecen de técnicas de manejo en su producción pecuaria, para ello es necesaria la asistencia técnica en este rubro. El mayor problema dentro de la producción pecuaria es que no se cuenta con infraestructura adecuada para el ganado y al mismo tiempo hay un suministro inadecuado de alimento para los animales, lo cual incide negativamente en la producción y reproducción ganadera de llamas; a esto se suman factores que afectan la reproducción, nutrición, genética, sanidad, medio ambiente y sistemas de manejo, y el recurso agua.

Los campos nativos de pastoreo presentan comunidades vegetales, principalmente climáticas y edáficas, con diferentes potenciales productivos que son afectados por la actividad humana y por fenómenos ambientales como la sequía. Los tipos de praderas que destacan son: pajonales de *ichu*, pajonales de *iru ichu* y *tholares*.

Ante la escasa cobertura de especies forrajeras, tanto en las praderas nativas y en la producción de forrajes, el sobrepastoreo es un marcado problema. El sobrepastoreo origina la degradación de los suelos, y esta situación nos demuestra que no existe un manejo adecuado de praderas nativas y forrajes. Las praderas o los campos nativos de pastoreo son utilizados de acuerdo con las estaciones del año. En la época de lluvias, el pastoreo se realiza en las zonas altas; en cambio en la época de estío (época seca), el pastoreo se realiza en las zonas bajas.

En mayor proporción, la producción pecuaria se destina al autoconsumo, y en pequeño porcentaje a los mercados de Huanuni y Oruro, donde generalmente se vende carne de oveja y llama.

No existe producción forestal en las comunidades de Aco Aco y Pairumani; sin embargo, las variedades que existen son la *Bouteloa* (*kiswara*), *Parastrephya* (*thola*), *Tetraglochin* (*Kainlla kiska*), etc. Tiene una importancia especial la *Parastrephya* (los *tholares*), ya que es variada y abundante; pero su explotación no es manejada técnicamente. Su reproducción natural no necesita de cuidados especiales ni de siembra, no precisa de actividades de reforestación; la leña que se utiliza para el autoconsumo no se tala de la planta viva; se saca las ramas muertas y resecas que tienen una coloración plomiza a blanca y que arden muy bien en el fogón. Se recoge *tholas* vivas en casos excepcionales, como para la fiesta de Todos Santos, pero en pequeñas cantidades.

El comportamiento climático en toda la región altiplánica tiene diferencia marcada y está en parte influenciado por el régimen hídrico entre el altiplano norte y el sur, donde la región del lago Titicaca es la zona más húmeda y de menos frío. Esta zona presenta un máximo de pluviosidad de ochocientos milímetros de lluvia por año y mantiene una temperatura por encima de los cuatro grados centígrados, con una máxima de hasta veinte grados. La zona al norte del lago Titicaca, en el altiplano peruano, recibe los deshielos y las vertientes de la parte extrema de la cordillera y mantiene una cuenca de alimentación continua hacia el lago. La única salida de agua en la superficie se produce a través del río Desaguadero, que lleva aguas hacia el sur y que luego de recibir otros afluentes, como el Mauri, desemboca en los lagos Uru Uru y Poopó por medio de dos brazos

del Desaguadero. Ya en el altiplano central, el lago Poopó tiene un único río de salida que lleva aguas hasta la laguna de Coipasa a través del río Lakhajahuira. Más al sur no existen ríos propiamente dichos, sino pequeños arroyos intermitentes. Esta disposición hace que el clima pase de semiárido, al norte, a completamente desértico, en el sur. Como el altiplano actual mantiene su balance hídrico a través de la cuenca endorreica, la evaporación es dominante: contabiliza el 90% de las pérdidas volumétricas del lago Titicaca y el 95% de las pérdidas del Poopó. Los vientos de la región son predominantemente del noreste en la zona norte, ya que la cuenca amazónica produce una zona de presión que sobrepasa la cordillera y alimenta con aire húmedo al cordón de los macizos nevados de la cordillera Real. En el altiplano sur, sin embargo, los vientos predominantes, durante la época seca, provienen del océano Pacífico, lo que le transfiere parte de la aridez característica de la costa, que se suma a la causada por la presencia de los grandes salares: Uyuni y Coipasa.

Con esta breve explicación, el altiplano boliviano como tal presenta dos comportamientos climáticos diferentes. Uno al norte (lago Titicaca) y otro al sur (salar de Uyuni). El altiplano central es una zona de transición: a veces se comporta con características más parecidas al altiplano norte y otras veces se comporta con características parecidas al altiplano sur. Sin embargo, en cuanto al clima de la región, son los cuerpos de agua existentes en el altiplano central, los lagos Uru Uru y Poopó, los que influyen en el comportamiento climático.

Los suelos de la zona de este estudio se han desarrollado sobre depósitos aluviales, se encuentran en los márgenes del río Santa Fe, en el tramo entre las localidades de Pairumani y Aco Aco, donde el cauce del río está limitado a su lecho.

En este tramo existe material aluvial depositado en terrazas, abanicos y llanuras aluviales (Aco Aco). Los suelos en esta zona corresponden al orden denominado *entisol*.

Otro tipo de suelos son los que se encuentran en las laderas del río Santa Fe; debido a esta influencia, presentan un alto contenido de sales en capas inferiores, capas con alto contenido de arcilla y capas superficiales con mayor acumulación de arena. Han sido clasificados

como entisoles y aridisoles. El aridisol presenta textura variable; la textura de superficie es liviana, a los diez centímetros aumenta la proporción de arcilla y a mayor profundidad se hace arcillo-limoso.

El subsuelo presenta características de muy alta salinidad. La presencia de valores elevados de pH acompañados con valores altos de conductividad eléctrica (salinidad) permite suponer que se trata de suelos salino-sódicos, donde la presencia de carbonatos y la probable hidrólisis del catión sodio llevan a la alcalinización. Esta unidad muestra una textura arcillo-limosa favorable a la retención de nutrientes, humedad y materia orgánica; pero el desarrollo vegetal puede verse limitado por la alta concentración de sales.

Con respecto a la flora y vegetación, la zona de estudio presenta ocho unidades de vegetación:

1. Formaciones de gramíneas bajas y medianas
2. Áreas sin vegetación y semidesiertos en procesos de salinidad
3. Formaciones gramíneas altas (pajonales de *Festuca orthophylla* o paja brava), matas de *Stipa* (*ichu*)
4. Formaciones arbustivas densas siempreverdes en laderas (matorral de *thola*)
5. Matorral mixto de *Parastrephia* con matas de gramíneas (*tholar*-pajonal)
6. Mosaico de vegetación natural remanente y campos de cultivos en descanso con pastoreo
7. Formaciones de gramíneas altas y arbustos en arenales
8. Formaciones arbustivas abiertas en laderas (matorral abierto en ladera)

Los nombres dados a estas unidades hacen referencia a la fisonomía de las comunidades vegetales, a la forma de crecimiento predominante o a la presencia de especies típicas como la *Parastrephia lephidophylla* (*thola*), la *Suaeda foliosa* (*kauchi*), *Distichlis* o *Muhlenbergia* (*chiji*).

Con respecto a la fauna, existe un conflicto en cuanto a la protección de especies. Hay especies que se considera que están amenazadas internacionalmente pero que no están protegidas en Bolivia, como por ejemplo la perdiz (*Rhynchotus rufescens)*.

Por el contrario, hay especies consideradas como amenazadas en el territorio nacional y que no están protegidas internacionalmente, como por ejemplo el puma (*Felis concolor)* y el pato negro (*Cairina moschata)*.

La conservación de estas especies en peligro pasa por entender su importancia en sus propios ecosistemas. Pero en opinión de muchos investigadores, sólo el pretender preservarlas ya es un reto cada vez más lejano. Una de las bases fundamentales para que las personas realicen un manejo apropiado de especies silvestres es que éstas les proporcionen ingresos económicos extras, lo cual no deja de ser un detalle importante siempre cuando el fin en sí sea una alternativa de manejo para las especies en peligro de extinción.

7. Determinación del riesgo de erosión y degradación de suelos de la subcuenca del río Pairumani

La erosión es la forma más importante de degradación de los suelos. La gran fuerza de transporte del agua incide en la pérdida de suelos agrícolas, lo que da lugar a una reducción natural de la estructura del suelo y a una disminución del contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo.

En Bolivia, la erosión hídrica ha reducido cantidad de tierras cultivables. Sin embargo, aún no se cuenta con datos que reflejen la distribución espacial de la erosión en las áreas andinas. Esto afecta la fertilidad de los suelos con la consiguiente sedimentación en cuerpos de agua natural, tal como se ha estado dando en los lagos de la cuenca endorreica del altiplano boliviano.

La zonificación del territorio sobre la base de criterios de susceptibilidad a la erosión constituye un elemento fundamental en la planificación para el desarrollo, se identifica áreas frágiles y se genera cartografía especializada para caracterizar cuantitativamente

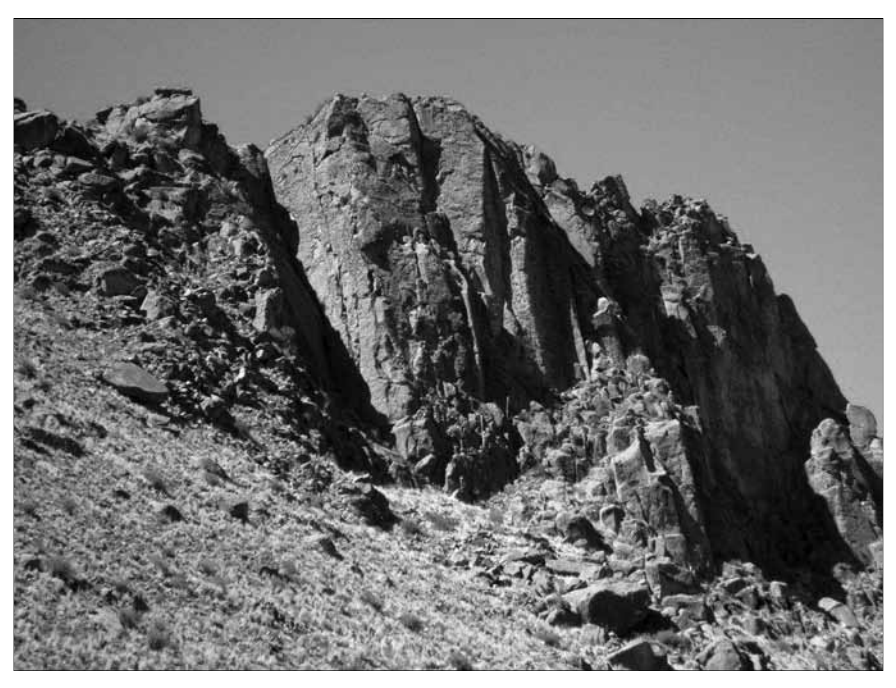
la variación espacial de los procesos erosivos. Esta información es básica para definir estrategias de mitigación de procesos erosivos mediante la planificación, la integración sostenible del territorio y la formulación de proyectos de inversión.

7.1. Geología de la subcuenca

Las formaciones geológicas de la cuenca corresponden a dos eras:

- La primera corresponde a la era del cenozoico, periodo cuaternario y fase andina II.
- La segunda corresponde a la era del paleozoico, periodo devónico-siluriano y fase cordillerana.

En la tabla 11 se presenta la superficie que ocupa cada una de las formaciones geológicas encontradas en el área de la subcuenca Pairumani.



Formación geológica de la era paleozóica. Fotografía: PIEB.

Tabla 11
Superficies de las formaciones geológicas en la subcuenca

Código	Formación geológica	Descripción	Superficie (ha)	
			ha	%
Era cenozoica, periodo cuaternario, fase andina II				
Qc	Depósito coluvial	Bloques y gravas	59,0	0,4
Qfg	Depósitos fluvio-glaciales	Gravas arenas y arcillas	1.901,6	12,5
Qt	Depósitos de terrazas	Cantos, gravas, arenas, limos y arcillas	323,8	2,1
Qcf	Depósitos coluvio-fluviales	Gravas, arenas, limos y arcillas	346,8	2,3
Tvm	Volcán Morococala	Lavas y tobas riodacíticas (rd)	6.086	39,9
Lr	Lecho del río	Depósitos aluviales, coluviales sedimentos	222,0	1,5
Era paleozoica, periodo devoniano-siluriano y fase cordillerana				
Scc	Formación Cancañiri	Diamictitas marrones a gris-verdosas, areniscas y limonitas micáceas en el tope	1.845,5	12,1
Sct	Formación Catavi	Areniscas micáceas gris-verdosas intercaladas con lutitas	418,6	2,7
Sll	Formación Llallagua	Cuarcitas gris-claras y marrones, areniscas, limonitas y lutitas gris-verdosas	2.096,7	13,7
Sun	Formación Uncía	Lutitas grises a verdosas, niveles de areniscas y limolitas verde olivo	1.965,3	12,9
Total			**15.265,3**	**100**

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 6: Mapa geológico de la subcuenca



Fuente: elaboración propia.

7.2. Geomorfología de la subcuenca

La cuenca está formada por un paisaje de formas estructurales, denudacionales y deposicionales. Las unidades de origen estructural originadas por el plegamiento de las rocas sedimentarías corresponden a laderas, serranías disectadas, laderas y serranías de pendiente fuerte, escarpes y otros. Las unidades de origen denudacional están conformadas por depósitos aluviales y por valles glaciales; son producto de la erosión retrógrada. Los periodos del cuaternario son clásico ejemplo de estas unidades. Las unidades de origen deposicional son el resultado de la erosión, traslado y deposición de los materiales meteorizados. Estas unidades están representadas por terrazas, abanicos aluviales, depósitos de río, morenas y escombros de talud. La tabla 12 presenta la descripción y las superficies ocupadas por cada una de las unidades geomorfológicas identificadas en la subcuenca.

7.3. Cobertura vegetal de la cuenca

Sobre las terrazas antiguas de los ríos Huanuni y Ventaimedia se ha identificado mayor densidad de vegetación herbazal (*chillca*, paja brava y resto de cultivos anuales), con alguna asociación rala de arbustos (*thola Calamagrostis*). En el lugar, los suelos están situados sobre pendientes planas o casi planas, de 0% a 6% aproximadamente, compuestos de materiales coluvio-aluviales y con presencia de grava y algo de piedra.

Sobre las terrazas antiguas en la confluencia de los ríos Huanuni y Veintaimedia se ha encontrado predominio de vegetación herbazal de porte bajo (paja brava, pasto bandera, *Nasella* y restos de cultivos anuales). Los suelos son moderadamente profundos a profundos, sin problemas de salinidad, con presencia de grava y algo de piedra.

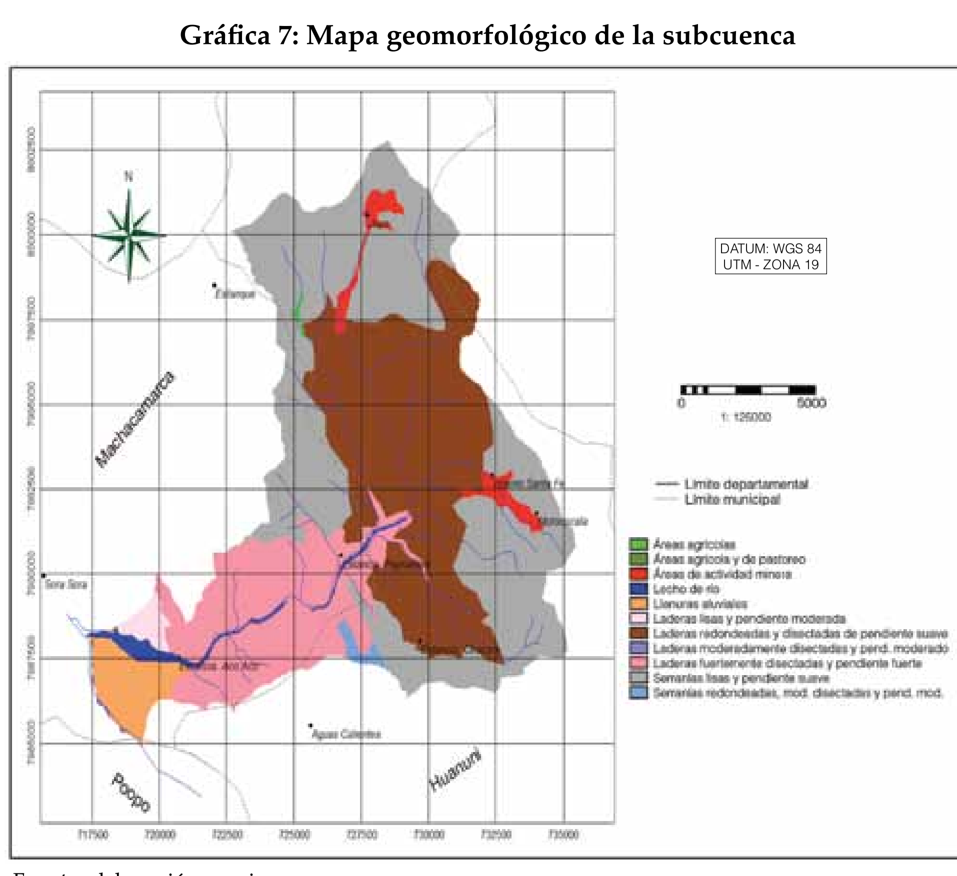
En el pie de monte ondulado, la vegetación predominante corresponde a una asociación herbazal arbustal (pasto bandera, paja brava, *thola*) con restos de cultivos anuales. Los suelos son moderadamente profundos a profundos con pendientes de 0% a 10% de inclinación (planos a casi planos y ligeramente inclinados).

Tabla 12
Superficies y descripción de las unidades geomorfológicas

Código	Formación geomorfológica	Descripción	Superficie	
			ha	%
1	Zonas de actividades agrícolas	Unidad de origen deposicional, producto de la erosión, traslado y deposición de los materiales meteorizados.	18,80	0,1
2	Zonas asociadas de actividades agrícolas y pastoreo intensivo	Unidad de origen deposicional, producto de la erosión, traslado y deposición de los materiales meteorizados, formación de terrazas, depósitos de cauce y escombros.	0,70	0,0
3	Zonas de actividad minera	Unidades estructurales, con yacimientos de minerales, situadas en formaciones de laderas escarpadas, son producto de la actividad tectónica a escala regional.	344,00	2,3
4	Lecho de río	Unidad de origen deposicional, producto del transporte de sedimentos y erosión fluvial con formación de meandros.	221,00	1,4
5	Llanuras aluviales	Unidad de origen deposicional, terrazas recientes, abanicos aluviales, depósitos fluviales no diferenciados y escombros de talud.	575,10	3,8
6	Laderas lisas y pendiente moderada	Unidades de origen estructural, sin disecciones en su superficie y pendientes entre 8% y 15% aproximadamente. Presentan un riesgo de erosión moderado.	170,10	1,1
7	Laderas redondeadas y disectadas de pendiente suave	Unidades de origen estructural, fluvio-glacial, son resultado de la erosión glacial y fluvial, presentan una pendiente menor a 8%. Su riesgo a la erosión es bajo.	4.752,70	31,1
8	Laderas moderadamente disectadas y pendiente moderada	Unidad de origen estructural y denudacional, presentan una densidad de disección media y pendientes que están entre 5% y 15 % aproximadamente. Son unidades con riesgo de erosión alto.	1,40	0,0
9	Ladras fuertemente disectadas y pendiente fuerte	Unidad de origen estructural y denudacional, son producto de la acción fluvial erosiva, cuyas pendientes están mayores a 25%. Presentan un alto riesgo de erosión y degradación de suelo.	2.868,30	18,8
10	Serranías lisas y pendiente suave	Unidades de origen estructural, denudacional. Están presentes en las formaciones Llallagua, Uncía. Su rugosidad es evidencia de la acción glacial, su pendiente está a menos de 5%, y presentan bajos grados de erosión.	6.221,20	40,8
11	Serranías, redondeadas, moderadamente disectadas y pendiente moderada	Unidad de origen estructural y denudacional, producto de la acción glacial y fluvial, presenta una pendiente que va de 5% a 25% aproximadamente, con un grado de erosión moderado.	92,00	0,6
Total			**15.265,3**	**100**

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 7: Mapa geomorfológico de la subcuenca



Fuente: elaboración propia.

En el fondo de valle (terrazas recientes), la vegetación predominante es una asociación herbazal densa con arbustos ralos (*thola - Bacharis*, pasto bandera, garbancillo - *Vicias*, *kainlla*) y parcelas con restos de cultivos de cebada, quinua y otros. Los suelos están ubicados en lugares planos a casi planos (0% a 6%), con grava y piedra en el subsuelo y alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica.

En el fondo del valle, en el área correspondiente al río Callumalli, la vegetación predominante es una asociación herbazal y de arbustos (paja brava - *Stipa*), *thola* (*Bacharis*), con predominio de parcelas con restos de cultivos anuales. Los suelos son profundos, en sitios planos a casi planos, con alta susceptibilidad a la erosión especialmente cuando se encuentran descubiertos.

En el fondo del valle, en el área correspondiente al río Pairumani, la vegetación predominante es un herbazal moderadamente denso con arbustos ralos (paja brava, *thola - Bacharis*, *Parastrephia*, pasto bandera y otros pastos). Los suelos son profundos con algunos horizontes endurecidos. En las zonas de depresión se notan problemas de acumulación de sales en la superficie del suelo.

En el fondo del valle, en el área correspondiente al río Huanuni, la vegetación predominante es herbazal denso (paja brava *Calamagrostis nacella*), asociada a parcelas con restos de cultivos anuales. Los suelos son profundos en lugares planos a casi planos, sin grava ni piedra, formados sobre materiales aluviales. También en esta zona se puede encontrar predominancia de vegetación herbazal densa de porte bajo (pasto bandera, paja brava y otras gramíneas). Las zonas son planas, sin problemas de escurrimiento superficial y drenaje limitado por características del subsuelo. En la tabla 13 se presenta la descripción y las superficies ocupadas por cada una de las unidades de cobertura vegetal identificadas en la cuenca.

7.4. Unidades erosivas de la subcuenca

La cuenca tiene un relieve accidentado con formación de laderas y serranías, mismas que presentan diferentes tipos de materiales de formación, que varían entre aluviales, coluviales, glaciales y otros, todos de diferentes orígenes (estructural, denudacional,

Tabla 13
Superficies y descripción de la cobertura vegetal

Código	Cobertura Vegetal	Descripción	Superficie	
			ha	%
1	Agricultura intensiva	Son áreas bajo una intensa actividad agrícola, que a menudo está dominada por el monocultivo. Estas áreas se distribuyen en la parte superior, a orillas del cauce del río, de donde aprovechan sus aguas para el riego constante. El área está dominada por una pendiente menor a 8%. Presentan un bajo riesgo de erosión.	18,8	0,12
3	Áreas de actividad minera	Son áreas sin cobertura vegetal, dedicadas a la explotación de minerales como el estaño; corresponden a los ingenios situados en la parte media y altas de la subcuenca. Se ubican sobre pendientes entre 5% y 50%. Presentan un moderado riesgo de erosión.	344,3	2,26
4	Lecho del río	Su superficie ocupada por el lecho del río, se encuentran principalmente en la parte baja de la subcuenca, auque se ha identificado lechos formados en la parte media con poco desarrollo. No presentan cobertura vegetal.	220,6	1,45
5	Herbazal bajo	Zonas situadas en la parte media de la cuenca, sobre las laderas del río principal. Están compuestos principalmente por pasto bandera, paja brava y otras gramíneas de porte bajo. La pendiente donde se ubican está entre 5% y 25%. Tienen un moderado riesgo de erosión.	575,8	3,77
6	Herbazal alto	Tienen vegetación herbazal de porte alto con alguna asociación arbustal, principalmente de paja brava (*Stipa*), *thola* (*Bacharis*). La cuenca se encuentra en el límite del herbazal bajo y arbustal, situado casi en la parte media de la cuenca. La pendiente es de 8% a 35%. Tienen un riesgo moderado.	170,1	1,11
9	Arbustal denso	Vegetación del tipo *tholar*, pajonal denso en la parte media, en formaciones de laderas con alto grado de disecciones. Situadas sobre pendientes escarpadas, por su alto grado de densidad de cobertura se las clasifica como áreas de moderado riesgo de erosión.	2.869,7	18,80
10	Serranías con escasa cobertura vegetal	Cobertura de herbazal y arbustal ralo, casi desnudo, presente en serranías redondeadas sobre las formaciones Llallagua y el volcán Morococala. Aunque corresponden a serranías de baja pendiente debido a su baja cobertura vegetal presentan alto riego de erosión.	11.066,0	72,49
Total			**15.265,3**	**100**

Fuente: elaboración propia.

deposicional); diferentes tipos de erosión que afectan de sobremanera a las poblaciones asentadas en los sectores bajos de la cuenca se han formado en virtud a los grados de pendientes así como a la presencia o ausencia de la cobertura vegetal. Todo esto contribuye al deterioro de los recursos naturales; a lo cual se suma las malas actividades antrópicas que se desarrollan. En las imágenes satelitales de la zona se identificaron varios tipos de erosión en diferentes grados, como se describe en la tabla 14.



Presencia de especies arbustivas nativas en cercanías del cauce del río. Fotografía: PIEB.

7.5. Pendientes de la subcuenca

Debido a que la cuenca presenta una topografía accidentada, se vio la necesidad de agrupar cada una de las unidades de pendiente en siete categorías (PROMIC 2004 y CLAS 2005). En la tabla 15 se describe cada una de las categorías de pendiente así como la superficie ocupada en la cuenca.

Tabla 14
Tipo y grado de erosión presente en la subcuenca

Código	Unidad erosiva	Descripción	Superficie	
			ha	%
1	Agricultura intensiva	Debido a que estas áreas están ocupadas por cultivos agrícolas casi todo el año, a menudo su explotación por monocultivos las hace propensas a los procesos de degradación de suelos, razón por la cual pueden ser catalogadas como zonas de moderado riesgo de erosión. En la cuenca están presentes sobre superficies con pendiente menor a 8%.	18,8	0,1
2	Áreas de actividad minera	Son áreas ubicadas sobre formaciones de origen estructural con moderado a alto grado de disecciones. Se ubican sobre pendientes de entre 5% y 50%. Presentan un moderado riesgo de erosión.	344,0	2,3
3	Lecho del río	Corresponde a la superficie ocupada por el lecho del río, se encuentran principalmente en la parte baja de la cuenca, auque se ha identificado lechos formados en la parte media y alta con poco desarrollo, no presentan cobertura vegetal constante por estar expuestos a procesos de arrastre de sedimentos y procesos erosivos.	221,0	1,4
4	Laminar ligero	Presentan una cobertura vegetal moderadamente densa, que no permite la pérdida de suelos por procesos de erosión, a pesar de encontrarse algunas de estas unidades sobre pendientes mayores a 10%. Se hallan distribuidas en la parte alta, de pendiente muy baja. A estas zonas se les asigna un bajo grado de riesgo de erosión por no constituir procesos de degradación.	6.221,2	40,8
5	Laminar moderado	Presentan un moderado escurrimiento de sedimentos superficiales, lo cual significa mayor grado de erosión que se atribuye al aumento de pendientes de estas zonas. Estas zonas se encuentran en las partes bajas y medias de la cuenca donde la pendiente tiene entre 8% a 15%. Su erosión varía de baja a moderada.	170,1	1,1
6	Laminar severo	Se ubican sobre materiales coluviales, mismos que son muy susceptibles y frágiles, presentan altos aportes de sedimentos hacia el cauce principal. En el área de estudio se localizan en la parte media de la cuenca, donde las pendientes fluctúan entre 10% a 30%. Son zonas con alto grado de erosión.	575,8	3,8
7	Surcos y cárcavas moderados	En las superficies se puede observar depresiones de hasta 25 cm con profundidades de hasta 100 cm. Se encuentran en laderas y serranías moderadamente disectadas, aunque también están sobre las riveras de los ríos. En la subcuenca, esta unidad está presente en las partes medias y altas, sobre pendientes de 15% a 25%. Presentan un riesgo de erosión moderado.	4.844,6	31,7
8	Surcos y cárcavas severos	Presentan depresiones de hasta 50 cm de ancho y hasta de 2 metros de largo, lo cual favorece a que se produzcan moderados a altos volúmenes de arrastre de sedimentos hacia el cauce principal. Son producto de la disminución de la densidad de la cobertura vegetal y del aumento de la fragilidad del material parental, también eso está favorecido por los altos grados de pendiente en que se ubican estas unidades. Se distribuyen en toda la parte central de la cuenca, se clasifican como unidades de riesgo alto.	2.868,3	18,8
9	Cárcavas moderadamente activas	Son superficies donde, debido a la alta actividad antrópica agrícola y ganadera, se produce una ampliación progresiva de los surcos superficiales, los cuales se van activando y convirtiéndose en cárcavas. En la cuenca, estas unidades están en las partes bajas. Debido a su grado inicial de erosión por cárcavas, se clasifican como unidades de alto riesgo.	1,5	0,0
Total			**15.265,3**	**100**

Fuente: elaboración propia.



Gráfica 8: Mapa de cobertura vegetal

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15
Unidades de pendiente en la cuenca

Unidad	Grado de pendiente	Descripción	Superficie	
			ha	%
1	0% – 3%	Superficies casi planas, presentes generalmente en zonas bajas y mesetas volcánicas. En la subcuenca, esta unidad está ocupada por los lechos de los ríos, los cuales se encuentran en las partes bajas. También se ha identificado su presencia en las mesetas volcánicas del Morococala. Por su inclinación presentan un riesgo de erosión muy bajo.	776,1	5,1
2	3% - 8%	Superficies presentes en zonas de ladera. En la subcuenca se encuentran alrededor de los lechos de río, y en laderas del volcán Morococala. Presentan un riesgo de erosión bajo	1.558,3	10,2
3	8% - 16%	Superficies de laderas moderadamente empinadas. En la subcuenca se encuentran distribuidas en la misma dirección de los cauces. Presentan un riesgo de erosión moderado.	3.611,5	23,7
4	16% - 25%	Superficies de laderas empinadas. En la subcuenca estas unidades están por encima de las laderas moderadamente empinadas, también se distribuyen a lo largo de los lechos de río. Presentan un riesgo de erosión alto.	3.485,7	22,8
5	25% - 38%	Superficies de laderas muy empinadas. En la subcuenca, estas unidades están distribuidas en las partes medias y altas. Presentan un riesgo de erosión alto.	2.724,2	17,8
6	38% - 55%	Superficies de laderas escarpadas. En la subcuenca se hallan distribuidas en las partes medias y altas. Presentan un riesgo de erosión muy alto.	1.251,7	8,2
7	> 55%	Superficies de laderas muy escarpadas. En la subcuenca se hallan distribuidas en las partes altas. Presentan un riesgo de erosión muy alto.	1.857,8	12,2
Total			**15.265,3**	**100**

Fuente: elaboración propia.

7.6. Unidades de riesgo de erosión y degradación de suelos

En función de la caracterización efectuada en cada uno de los estudios temáticos (geología, geomorfología, cobertura vegetal, unidades erosivas y pendientes), se procedió a la implementación de un modelo de análisis espacial que se diseñó exclusivamente para las condiciones de la subcuenca. El modelo siguió un análisis de mapas temáticos mediante matrices bidimensionales (tres matrices) de tipo analítico, usándose para el efecto técnicas avanzadas de SIG (sistema de información geográfica).

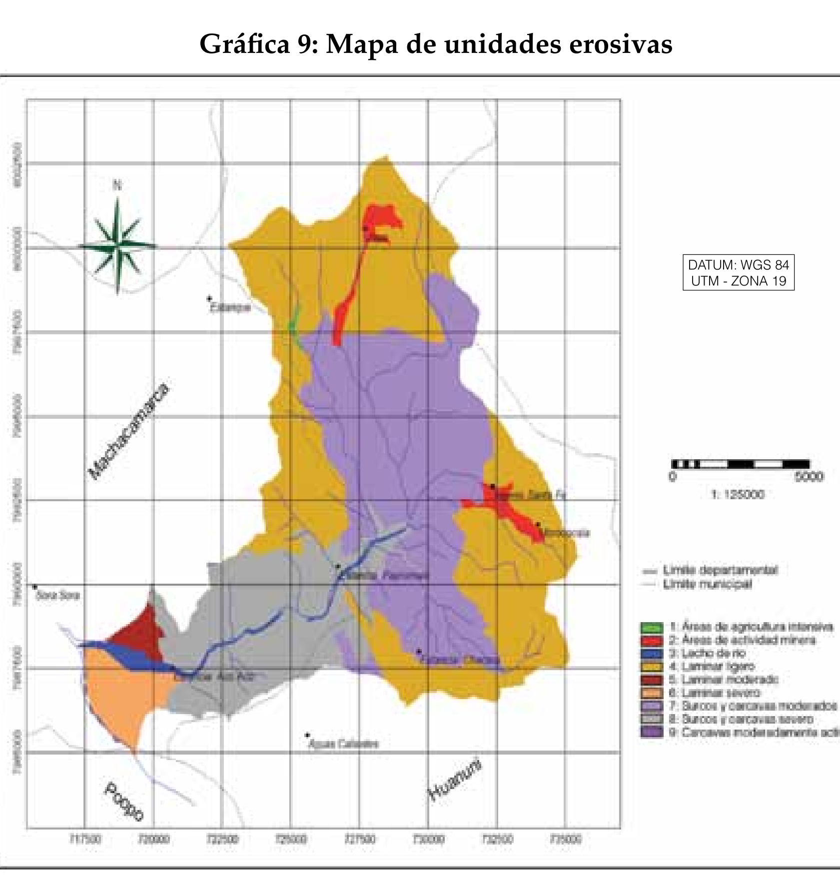
El análisis espacial de mapas temáticos fue expuesto a una calibración y sensibilización, previa verificación en campo. Luego de analizar la caracterización se procedió a la calibración de unidades. Posteriormente, y aplicando las fórmulas de riesgos según estudios y experiencias desarrolladas en cuencas hidrográficas de Bolivia, Colombia y México, se obtuvo el mapa de riesgo de erosión y degradación de suelos, el cual fue filtrado para obtenerse finalmente el mapa que refleja el estado actual de deterioro de la cuenca (mapa de riesgo de erosión y degradación de suelos de la subcuenca). Se identificó cuatro grados de riesgo distribuidos en diferentes áreas. (tabla 16).

Tabla 16
Unidades de riesgo de erosión y degradación de suelos en la cuenca

Unidad	Riesgo	Descripción	Superficie	
			ha	%
1	Muy bajo	Unidad con bajo o casi ningún tipo de erosión. Esta unidad no fue encontrada en la subcuenca.	0	0,0
2	Bajo	Unidad con alta estabilidad y bajo aporte de sedimentos hacia el cauce principal. Está formada por áreas de pastizales densos, arbustales densos, asociados con zonas agrícolas intensivas y temporales. En la subcuenca, esta unidad se encuentra distribuida en las partes bajas y a orillas del cauce principal.	606	4,0
3	Moderado	Unidad con moderado grado de estabilidad y cierto aporte de sedimentos hacia el cauce principal. La vegetación predominante son asociaciones con herbazales altos y arbustales ralos. Tienen pendiente moderada, razón por la cual se precisa la implementación de programas de manejo y recuperación de especies vegetales con planes de conservación de suelos. Se halla en la parte media y alta de la cuenca.	3.399	22,3
4	Alto	Unidad de bajo grado de estabilidad y alto aporte de sedimentos hacia el cauce principal, provocada por la presencia de surcos y cárcavas. Se recomienda la implementación de planes de protección de suelos con cobertura vegetal e implementación de obras de protección sobre los cauces para evitar deslizamientos superficiales, que incrementan los riesgos de sedimentación aguas abajo. En la cuenca, esta unidad está en la parte media, su intervención y la formulación de obras es prioritaria.	8.525,7	55,9
5	Muy alto	Unidad de material muy inestable por presentar escasa cobertura, situada en laderas empinadas, con evidencias de surcos y cárcavas y pendientes escarpadas a muy escarpadas con altos volúmenes de arrastre de sedimentos hacia el cauce principal, que además produce deslizamientos y activación de cárcavas en las partes bajas. La protección de suelos con cobertura vegetal y control de cauces (surcos y cárcavas) es prioritaria. En la subcuenca, esta unidad se halla en la parte media y alta.	2.509,3	16,4
6	Lecho de río	Unidad receptora de sedimentos, en las partes altas se recomienda la implementación de obras de control de torrenteras mediante diques, en las partes bajas el control del cauce mediante gaviones y dragados de los sedimentos depositados y transportados.	225,3	1,5
Total			**15.265,3**	**100**

Fuente: elaboración propia.

Gráfica 9: Mapa de unidades erosivas



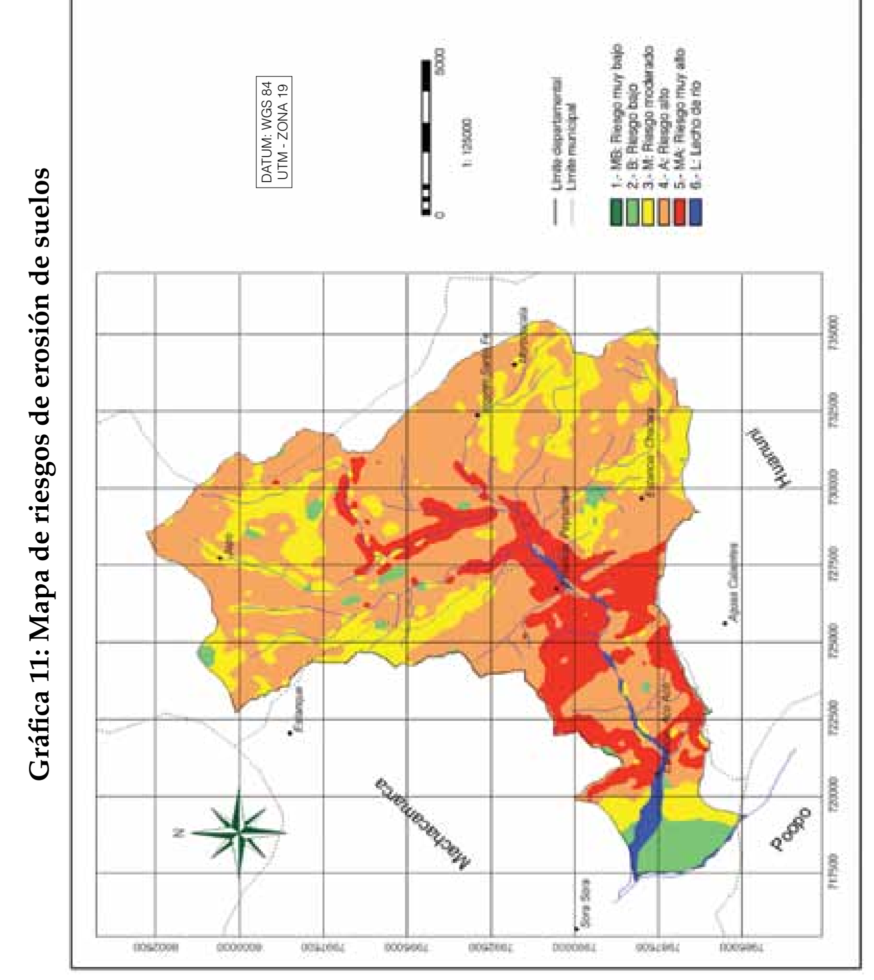
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 10: Mapa de pendientes



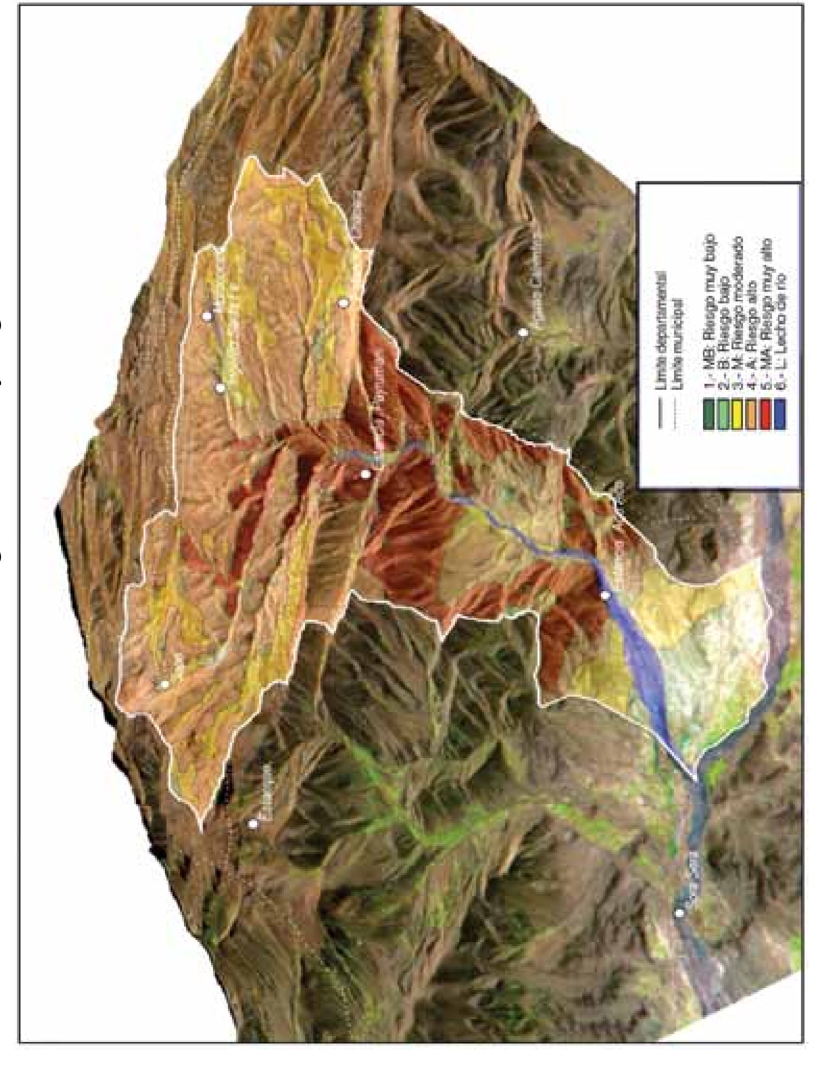
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 11: Mapa de riesgos de erosión de suelos



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 12: Vista tridimensional de zonas de riesgo de erosión y degradación de suelos en la subcuenca



Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV
Concentración de los sedimentos del río

1. Fundamentos de la concentración gravimétrica centrífuga

La concentración gravimétrica de minerales de estaño se realizó utilizando diferentes equipos que actúan bajo la aceleración de la gravedad normal del campo gravitacional terrestre; en esas condiciones, cada equipo tiene limitaciones propias en cuanto al tamaño de partículas que se puede procesar y en cuanto al rendimiento que se puede obtener en la recuperación de casiterita.

Ya desde hace bastante tiempo se empezó a utilizar el campo centrífugo con aceleraciones mayores a diez veces la gravedad en ciclones y en el Dyna Whirpool; principalmente en operaciones de preconcentración con pulpas pesadas; pero sólo desde hace pocos años se está incursionando en el campo centrífugo, de mayor fuerza para el tratamiento de partículas finas de largo espectro, incluyendo las partículas finas de casiterita, sin necesidad de recurrir al uso de pulpas pesadas.

Las ventajas que se atribuyen a esta nueva técnica de concentración son las siguientes:

- Mayor recuperación, puede superar el 80%
- Bajos costos de operación
- Menor espacio necesario para la instalación

A estas ventajas, ya reconocidas, puede añadirse otras que resulten de la aplicación específica a cada mena en particular, como por

ejemplo menor consumo de agua, incorporación de reservas actualmente no incluidas a los programas de producción, menor impacto ambiental al no emplear reactivos ni tener emanaciones gaseosas de contaminantes, etc.

Con estas ventajas incorporadas, la concentración gravimétrica resultaría mucho más competitiva que la flotación o la volatilización de estaño que durante mucho tiempo se planteó como alternativa tecnológica, principalmente por las altas cotizaciones del estaño en el mercado internacional y la reactivación de la minería estañífera en el país.

La concentración gravimétrica centrífuga puede emplearse actualmente en un amplio rango de fracciones granulométricas, que pueden ir desde 35 mallas Tyler hasta cinco micrones, utilizando equipos adecuados para diferentes rangos de fracciones, entre los que sobresalen varios equipos de concentración centrífuga.

Tres son los tipos de centrífugas que se está aplicando a la concentración de minerales,

- incluso en el ámbito industrial:
- Centrífugas de lecho fluidizado pulsante (Jig Kelsey)
- Centrífugas de lecho sedimentado (centrífuga china)
- Centrífugas de lecho fluidizado (Knelson, Falcon y otros)

A continuación, presentamos una comparación de concentrabilidad de diferentes menas estañíferas bolivianas en estos dos últimos tipos de centrífugas.

1.1. Centrífugas de lecho sedimentado

Para la concentración gravimétrica centrífuga se requiere que el lecho o cama donde se acumularán las partículas pesadas esté sometido a la acción de un campo centrífugo cuya aceleración supere varias veces la aceleración de la gravedad. Cuanta más alta sea esta aceleración, mayores serán las posibilidades de obtener altas recuperaciones o podrán concentrarse partículas mucho más finas que normalmente es imposible recuperar en la gravimetría tradicional.

Cuando se obliga a una pulpa a desviarse de una trayectoria de flujo rectilíneo que está en curso mediante la acción de una fuerza o un cambio del perfil del canal que conduce la pulpa, se genera una fuerza centrífuga que actúa sobre cada uno de los componentes de la pulpa de acuerdo con la siguiente expresión.

$$F = \frac{W}{G} r \omega^2 \qquad (1)$$

Donde:

F = fuerza centrífuga (G)
W = peso de la partícula (g)
r = radio de curvatura o radio de giro (cm)
ω = velocidad angular (rad/seg)
G = aceleración de la gravedad (981 cm/seg)

$$F = \frac{\pi^2}{900} \frac{W}{G} r (RPM)^2$$

$$F = 1{,}118 \text{ W r (RPM)}^2 \, 10^{-5}$$

La fuerza que actúa sobre un líquido en el interior de una centrífuga a diferentes profundidades dentro de las paredes del tazón da como resultado una presión líquida unitaria que se expresa por:

$$P_l = \frac{\delta}{2G} r \omega^2 (r_2^2 - r_1^2) \qquad (2)$$

Donde:

δ = densidad del líquido
r_2 = radio en un punto cualquiera para el que se calcula la presión
r_1 = radio de la superficie líquida exterior (ver diagrama en figura 1)

Las fuerzas que actúan sobre diferentes columnas o capas de líquidos o pulpas de distintas densidades alimentadas a una centrífuga

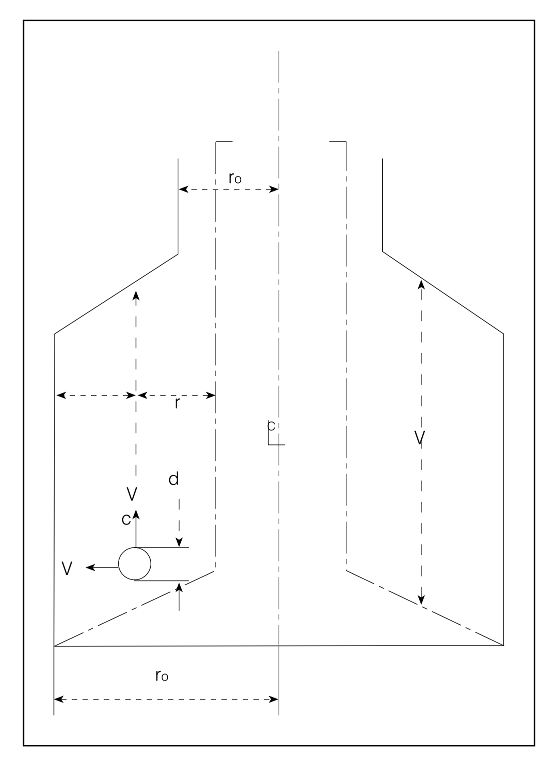
determinan la posición de la denominada zona neutra, que dividirá o separará los líquidos o pulpas; el líquido más denso se descarga pasando por un vertedero a un radio mayor que el radio de la zona neutra y el líquido o pulpa más ligero o liviano descarga por el vertedero encima del tabique divisorio de la zona neutra (figuras 6 y 7).

Figura 6
Esquema del principio de una taza separadora

Fuente: elaboración propia.

La posición de esa *zona neutra* constituye un factor importante para los resultados de funcionamiento de la centrífuga. Cuando la zona neutra está cerca del centro de la centrífuga, el componente más ligero está expuesto al efecto de una pequeña fuerza centrífuga, mientras que el más denso estará sometido a una fuerza centrífuga mayor. Cuando la zona neutra está cerca del diámetro mayor del tazón, el efecto es mayor sobre el componente más ligero y esa construcción se emplea para separaciones especiales como la purificación de aceites.

Figura 7
Esquema para las expresiones del circulante en las centrífugas continuas



Fuente: elaboración propia.

Otro parámetro importante en el funcionamiento de la centrífuga es la velocidad de flujo radial y longitudinal que tengan los componentes del fluido o pulpa dentro del tazón, lo que influye en la densidad que alcanzan las diferentes capas del flujo interno y por lo tanto influye también en la posición de la zona neutra.

La fórmula que relaciona la posición de la zona neutra con las densidades que alcanzan las diferentes capas es:

$$r_n = \sqrt{\frac{\delta_{Lo}\, r_o^2 - \delta_{Li}\, r_i^2}{\delta_{Lo} - \delta_{Li}}} = \sqrt{\frac{r_o^2 - r_i^2\left(\delta_{Li}/\delta_{Lo}\right)}{1-\left(\delta_{Li}/\delta_{Lo}\right)}} \quad (3)$$

Donde:

r_n = radio de giro de la *zona neutra*
d_{Li} = densidad del líquido o pulpa de la capa liviana
d_{Lo} = densidad del líquido o pulpa de la capa pesada

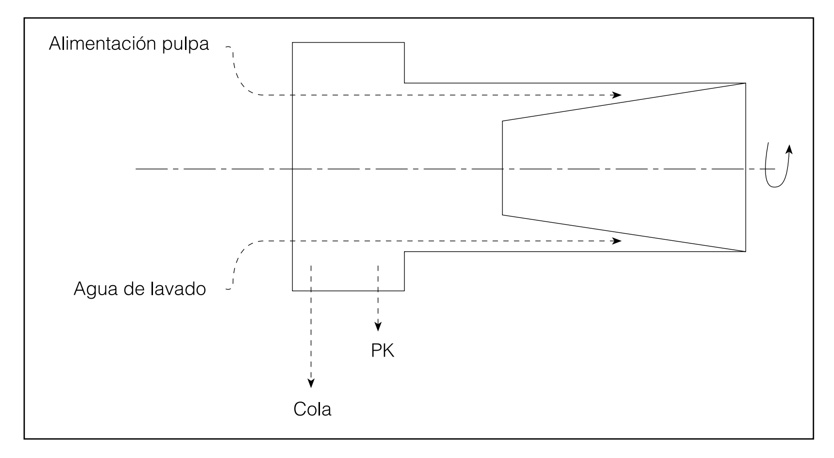
La diferencia de densidades entre ambas capas ejerce un gran efecto en la posición de la zona neutra. Si esta diferencia se hace demasiado pequeña, la separación se hace difícil, aunque se puede hacer separaciones con diferencias de densidad del orden del 3% o incluso con aparatos de diseño especial se pueden lograr separaciones con diferencias de densidades próximas al 1%.

1.2. Centrífugas chinas

La figura 8 muestra esquemáticamente una centrífuga china recientemente adquirida por APEMIN para realizar pruebas de concentración con materiales de relaves de diferente procedencia. Esa centrífuga trabaja en forma discontinua alternando ciclos de 3,5 minutos, de los cuales la alimentación se produce en los tres primeros minutos y el lavado y descarga del preconcentrado retenido en el tazón de la centrífuga en el siguiente medio minuto. Pero estos tiempos pueden ser regulados.

El tazón cilíndrico de esta centrífuga está fabricado en plancha lisa sin perforaciones, por lo que el material pesado se sedimenta directamente contra las paredes del tazón. La información bibliográfica reporta interesantes resultados de aplicación de centrífugas de este tipo en la concentración de diferentes minerales. En las siguientes tablas se ve las condiciones de operación y los resultados del tratamiento de minerales estañíferos finos (tablas 17 y 18).

Figura 8
Representación esquemática de la centrífuga china



Fuene: elaboración propia

Tabla 17
Condiciones de operación en el tratamiento de lodos de estaño

Etapa	Tamaño de partícula (mm)	Volumen alimentación (l/min)	Densidad de pulpa (% solid)	Ciclo de operación (seg)	Tiempo de alimentación (seg)	Tiempo de descarga (seg)
Rougher	0,074-0,01	90-100	20-25	210	180	30
Cleaner	0,074-0,01	70-80	15-20	210	180	30

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18
Resultados del tratamiento Rougher de lodos de estaño (en una unidad)

Aliment. (ton/día)	Ley de alimentac. (% Sn)	Radio de enriquecimiento	Recuperación (%)	Recuperación por rangos de tamaño (μm) (%)				Consumo de agua (t/t tratad)
				74-37	37-19	19-10	< 10	
30-35	0,2-0,6	2,5-3,0	80-85	80-85	85-90	75-80	35-40	1,5

Fuente: elaboración propia.

1.3. Centrífugas de lecho fluidizado

Las centrífugas de este tipo se caracterizan porque el tazón tiene una pared perforada por la que atraviesa, en sentido contrario al de la fuerza centrífuga, una corriente de fluido (aire o líquido) que dilata el sedimento acumulado contra la pared del tazón tal como sucede sobre la criba o cedazo de un *jig*, o contra la pared del tazón en el concentrador Knelson o Falcon.

Para estudiar el comportamiento del lecho fluidizado en este tipo de centrífugas se investiga la variación de presión que ejerce la carga contra las paredes del tazón bajo el efecto de la velocidad de flujo del fluido inyectado en contracorriente, tal como se estudia el lecho fluidizado de los *jigs* por el diagrama de Ergún (figura 9). En este diagrama hay dos velocidades críticas: V^1 cuando empieza a aflojarse o dilatarse el sedimento o cama, y V^2 cuando la velocidad ascendente del flujo es tan alta que arrastra todo el sedimento fuera del *jig*.

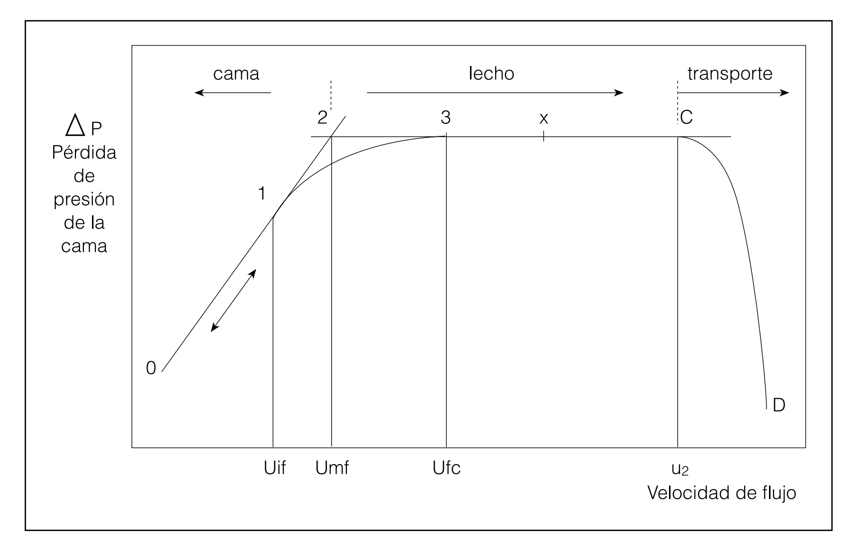
Figura 9
Diagrama de Ergún

Fuente: elaboración propia.

El estudio resulta más complicado si se desea tomar en cuenta que las partículas que conforman la cama o lecho son partículas polidispersas de diferente tamaño, forma y densidad; y en ese caso no existe

un valor crítico de velocidad para definir la zona en que comienza la dilatación del sedimento sino más bien un rango de velocidades, tal como lo muestra la figura 10, donde puede reconocerse que existen tres velocidades mínimas críticas.

Figura 10
Evolución de la pérdida de presión de la carga para un material de amplio aspecto granulométrico

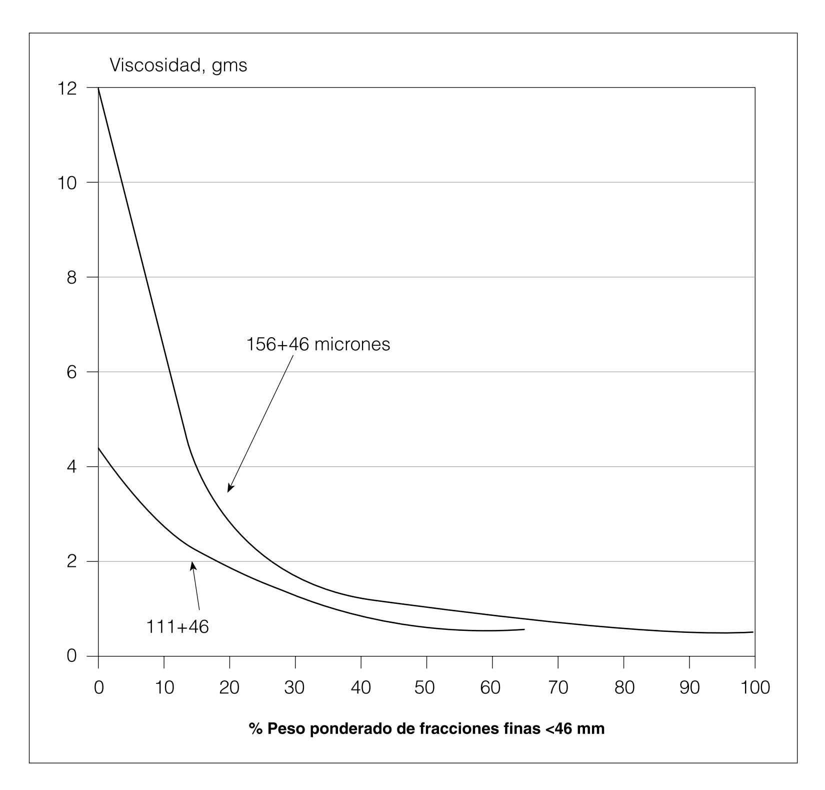


Fuente: elaboración propia.

Durante la concentración gravimétrica en centrífugas con cama fluidizada resulta muy importante saber con cuál de las tres velocidades iniciales de fluidización se debe regular la máquina y cuáles son los otros parámetros de operación o del material que pueden influir sobre los valores de esas velocidades críticas que al final determinarán la ley o la recuperación que se alcance en el concentrado.

Entre los factores que pueden influir en los valores de las velocidades mínimas de fluidización, Matheson y sus colaboradores han demostrado que la presencia de lamas o partículas finas en la alimentación actúan como un lubricante reduciendo notablemente la viscosidad de la cama fluidizada y disminuyendo los valores críticos mínimos de las velocidades de fluidización, como puede verse en la figura 11.

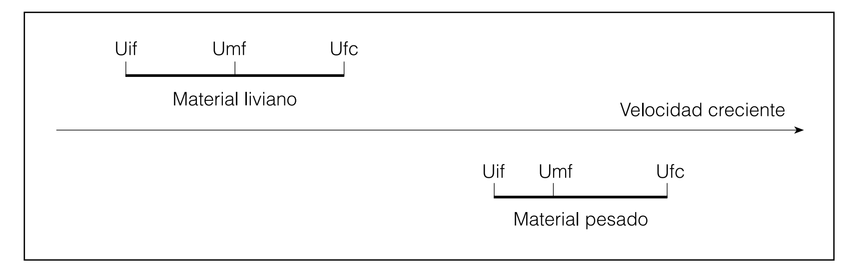
Figura 11
Influencia del porcentaje de partículas finas sobre la viscosidad de un lecho fluidizado



Fuente: elaboración propia.

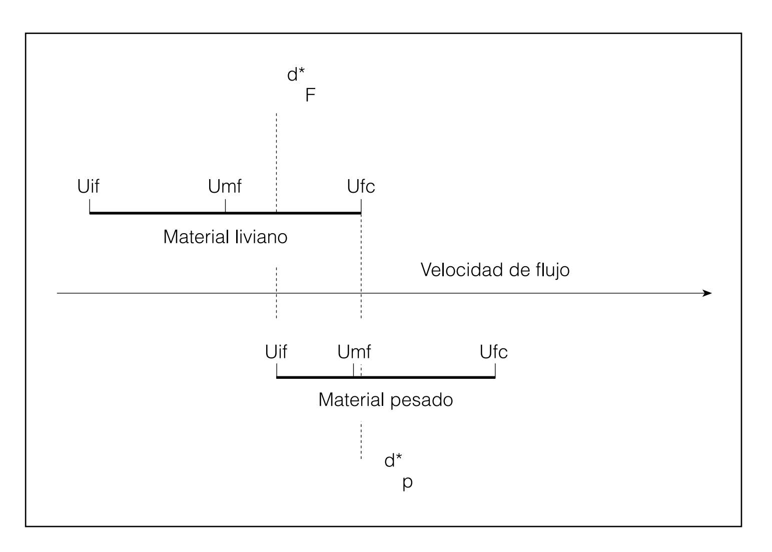
Si se estudia por separado las condiciones de fluidización de material liviano y pesado que formarán después las colas y el concentrado de la centrífuga de cama dilatada se encontrará que cada material tiene sus propias velocidades críticas mínimas, tal como lo muestran las figuras 12a y 12b.

Figura 12a
Caso de dos materiales cuyas áreas de velocidades críticas están claramente separadas (fácil concentrabilidad)



Fuente: elaboración propia.

Figura 12b
Caso de dos materiales mostrando superposición en las velocidades críticas de inicio de la fluidización, de difícil separación



Fuente: elaboración propia.

Para realizar la separación en la centrífuga de estos dos materiales constituyentes se tendrá que elegir una velocidad de fluidización intermedia Uif y Ufc, ya que existe un rango de velocidades de fluidización superpuesta para ambos materiales. Si ese rango es mayor, la separación será más difícil y a la inversa.

Al seleccionar una velocidad de fluidización intermedia entre Uif y Ufc, una fracción del material liviano de diámetro mayor a d_F^* quedará formando parte del concentrado y una fracción de partículas pesadas de diámetro menor a d_P^{**} pasará a la cola. Por tanto, aún en la concentración centrífuga se debe poner especial cuidado en la presencia de lamas y en la composición granulométrica del material de alimentación para mejorar los resultados que se espera obtener.

Figura 13
Curvas de determinación de velocidades*

Fuente: elaboración propia.

* Velocidades características de fluidización de un material en función de su densidad y su granulometría bajo un modelo exponencial (potencial) Remf=3.2x10-3 G2 en función de números Reynolds y números Galileo

Existen varios modelos matemáticos para calcular las velocidades mínimas de fluidización de diferentes partículas en función de su densidad y tamaño, como por ejemplo el modelo de potencia que muestra la figura 14, donde se observa que esas funciones no son lineales sino exponenciales. Existen correlaciones entre el número de Reynolds y el número de Galileo para obtener velocidades de fluidización convenientes para materiales polidispersos.

En el caso de la concertación gravimétrica en centrífugas, esas velocidades mínimas de fluidización quedan determinadas por la presión de inyección de agua a través de las paredes del tazón de la centrífuga y por la aceleración de la gravedad que alcance la máquina; por lo tanto, es recomendable experimentar esta técnica con conocimiento de causa y con el suficiente cuidado de optimizar adecuadamente los parámetros para obtener buenos resultados.

El desarrollo de las tecnologías centrífugas de los últimos años ha roto los límites tradicionales que se conocían para la concentración gravimétrica clásica posibilitando, de este modo, el tratamiento de partículas finas que normalmente era reservado para las técnicas de flotación.

En consecuencia, en la actualidad los mayores avances en las tecnologías de concentración de minerales están relacionados con la aplicación de los campos centrífugos. Existen ya en el mercado varios modelos de equipos conocidos como el separador multigravimétrico Mozley SMG, el concentrador Knelson, la centrífuga Falcon, las centrífugas chinas y el *jig* centrífugo Kelsey. La concentración gravimétrica centrífuga fue primeramente aplicada para la recuperación de oro, después para estaño y luego para otros minerales pesados.

1.3.1. Concentrador Falcon

Consiste en un cilindro vertical rotante con una pared inferior en forma cónica. La pulpa es conducida mediante un tubo central de alimentación sobre el plato de alimentación rotante. Debido a la aceleración centrífuga, el material se dirige hacia y contra la pared de la centrífuga que se abre hacia afuera en forma cónica. Se realiza una concentración radial según la densidad de la pulpa, así las

partículas más pesadas quedan adheridas a la pared lisa. El material liviano fluye sobre la parte superior cilindro-cónica de la centrífuga y es extraído. Se forma una zona de concentración en forma de anillo con una sección en forma de cuña. Este concentrado es lavado mediante agua adicional después de desconectar la alimentación, así el material sólido que se encuentra entre el palto de alimentación y la pared de la centrífuga llega al recipiente receptor del concentrado a través del eje hueco.

1.3.2. El *jig* Kelsey

La figura 14 muestra un *jig* Harz colocado horizontalmente en un campo centrífugo de eje vertical para representar esquemáticamente la analogía que existe entre los fundamentos de la concentración en un *jig* clásico y los que se presentan en un *jig* Kelsey (figura 15), cuyo diseño mecánico y constructivo fue satisfactoriamente resuelto por Chris Kelsey en 1993.

Figura 14
***Jig* Harz colocado en un campo**

Fuente: Knut, S. y R. Arvid (1997).

Figura 15
Esquema del diseño de un *jig* centrífugo de eje vertical centrífugo Kelsey

Fuente: Knut, S. y R. Arvid (1997).

Como primera analogía se debe señalar que el *jig* Kelsey opera bajo los mismos principios de la concentración gravimétrica en un lecho pulsante por efecto de la dilatación de una cama provocada por el accionamiento de un diafragma, pero con diferencias muy significativas que marcan la desemejanza, como por ejemplo la aparición de la fuerza centrífuga que actúa sobre las partículas y la cama del *jig*, el régimen de pulsión de alta frecuencia incorporado por Kelsey, los materiales empleados en su construcción y las interacciones múltiples que se dan entre los principales parámetros de operación del *jig* cuando, adicionalmente, se puede modificar la aceleración a la que son sometidas las partículas.

Entonces, sobre la base de esta información y la disponibilidad de varios de estos equipos centrífugos se han realizado muchos trabajos

de experimentación metalúrgica, principalmente en el laboratorio Concentración de Minerales. Por lo tanto, se tiene la suficiente experiencia como para sugerir y proyectar trabajos de esta naturaleza.

2. Pruebas de concentración metalúrgica y sus resultados

Veamos ahora los resultados relevantes de las pruebas de concentración con las muestras obtenidas en los tres puntos.



Observación de los sedimentos antes de la toma de muestras. Fotografía: Proyecto Remediación Ambiental.

2.1. Muestra punto 1

El contenido de estaño en el común de la muestra, determinado por cálculo, es de 0,15% Sn, considerando la fracción gruesa +2″ que se ha dejado en el lugar luego de un pesaje; mientras que el común de la fracción -2″, determinado por análisis químico es de 0,25% Sn y una ley de azufre de 0,01%.

Determinación de la densidad aparente

La densidad aparente de la muestra común es 1,817 gramos por centímetro cúbico. El análisis granulométrico se realizó tomando en

cuenta todos los tamaños de grano presentes en la muestra y que en su mayoría son fracciones gruesas, como se puede apreciar en la tabla 19.

Tabla 19
Análisis granulométrico de la muestra común, punto 1

Tamaño de grano		Peso	Ley	Distribución
Pulg/Malla Ty	Milímetros	%	% Sn	%
+2”	+50	32,01	0	0,00
-2” +10#	-50 +1,70	40,87	0	0,00
-10# +65#	-1,70 +0,212	19,20	0,44	55,37
-65#	-0,212	7,92	0,86	44,63
Cabeza calculada		100,00	0,15	100,00

Fuente: elaboración propia.

Con la finalidad de efectuar un control respecto al contenido de estaño en las fracciones finas, se efectuó un nuevo análisis granulométrico de una muestra común tal como llegó al laboratorio de concentración; es decir, de la muestra por debajo de dos pulgadas. El resultado es el siguiente:

Tabla 20
Análisis granulométrico de la fracción -2”, del común

Tamaño de grano		Peso	Ley	Distribución
Malla Tyler	Micrones	%	% Sn	%
+10#	+1700	44,93	0	0,00
-10# +14#	-1700 +1180	4,05	0	0,00
-14# +20#	-1180 +850	5,21	0	0,00
-20# + 28#	-850 +600	6,13	0	0,00
-28# +35#	-600 +425	8,74	0,01	0,39
-35# +48#	-425 +300	6,85	0,54	16,59
-48# +65#	-300 +212	9,80	0,64	28,11
-65# +100#	-212 +150	4,97	0,83	18,50
-100# +150#	-150 +106	4,05	0,84	15,27
-150# +200#	-106 +75	2,32	0,98	10,18
-200#	-75	2,94	0,83	10,96
Cabeza calculada		100,00	0,22	100,00
Cabeza ensayada			0,25	

Fuente: elaboración propia.

Eliminando la fracción +65 mallas Tyler de este último análisis granulométrico, se tiene una cabeza calculada de 0,86% de estaño de la fracción -65 Mallas Tyler, material con el que debe realizarse el trabajo experimental.

En una concentración incluyendo la centrífuga Falcon, con la fracción -65 mallas Tyler se efectuó la flotación de los sulfuros presentes en la muestra. El resultado es el siguiente:

Tabla 21
Balance metalúrgico de la prueba de flotación de sulfuros, muestra punto 1

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Sulfuros	3,27	0,26	0,25	0,95	0,42
Non float	96,73	7,66	0,88	99,05	44,21
Cabeza cal.	100,00	7,92	0,86	100,00	44,63

Fuente: elaboración propia.

Se elimina prácticamente todo el sulfuro y esto permite establecer que, aproximadamente, un 0,26% en peso del total corresponde a este material; por otro lado, esta eliminación posibilita elevar ligeramente el contenido de estaño. También se puede mencionar que la operación de eliminación de sulfuros se realiza con alta eficiencia, ya que el 99% de la distribución de estaño se queda en el *non float*.

El *non float* de la anterior etapa se somete al tratamiento en el concentrador centrífugo Falcon. El resultado se ve a continuación:

Tabla 22
Balance metalúrgico de la prueba de preconcentración en el Falcon, muestra punto 1

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Preconcen.	33,25	2,55	1,88	71,20	31,48
Cola	66,75	5,11	0,38	28,80	12,73
Cabeza cal.	100,00	7,66	0,88	100,00	44,21

Fuente: elaboración propia.

Se obtiene un producto con ley de estaño interesante y con una aceptable recuperación; naturalmente que es posible mejorar estos

índices merced a un segundo paso en el Falcon, paso *scavenger*, si el caso así lo requiere.

El preconcentrado del Falcon se somete a una concentración en mesa vibrante con el siguiente resultado:

Tabla 23
Balance metalúrgico de la prueba de concentración en mesa vibrante, muestra punto 1

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Concentrad	4,07	0,10	22,69	47,27	14,88
Segundas	15,50	0,40	4,38	36,07	11,35
Cola	80,43	2,05	0,39	16,66	5,25
Cabeza cal.	100,00	2,55	1,88	100,00	31,48

Fuente: elaboración propia.

Del balance metalúrgico se puede establecer una baja recuperación en la mesa, porque la granulometría es fina y porque parece que faltaría liberación en una buena parte del mineral de casiterita; es por esta posible razón que un 36% de la distribución del estaño se encuentra en el producto segundas o mixtos.

Por otro lado, el concentrado obtenido no tiene aún una ley comercial porque este producto está acompañado por una considerable cantidad de material magnético (magnetita y hematita, óxidos de hierro); por tanto, este producto debe todavía ser sometido a una etapa de separación magnética.

El concentrado de mesa, por el contenido de impurezas de óxidos de hierro, es sometido a una etapa de separación magnética. El resultado se puede ver en la tabla 24.

El producto no magnético es el concentrado final de casiterita; es un producto comercializable aunque la recuperación total es baja, apenas llega al 14,71%. Este aspecto muestra la dificultad que se presenta para la recuperación de las partículas finas de casiterita; en todo caso, debe realizarse un análisis económico para ver las posibilidades de una operación industrial rentable.

Tabla 24
Balance metalúrgico de la prueba de separación magnética a partir del concentrado de mesa, muestra punto 1

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Magnético	59,49	0,06	0,44	1,15	0,17
No Magnet.	40,51	0,04	55,36	98,85	14,71
Cabeza cal.	100,00	0,10	22,69	100,00	14,88

Fuente: elaboración propia.

Es pertinente efectuar la concentración sin incluir la centrífuga Falcon para comparar los resultados finales por cuanto en el proyecto final sería recomendable efectuar este análisis con la posibilidad de disminuir los costos de inversión.

Tomando en cuenta sólo la fracción -65 mallas Tyler se efectuó la flotación de los sulfuros. El resultado es el siguiente:

Tabla 25
Balance metalúrgico de la prueba de flotación de sulfuros, muestra, punto 1, segunda opción

Producto	% P, Etapa	% P, Total	% Sn	% D, Etapa	% D, Total
Sulfuros	3,29	0,26	0,71	2,73	1,22
Non float	96,71	7,66	0,86	97,27	43,41
Cabeza cal,	100,00	7,92	0,86	100,00	44,63

Fuente: elaboración propia.

En esta operación se elimina la mayor parte de los sulfuros que están presentes en la muestra; el *non float*, libre de sulfuros, se alimentará a mesas, para su concentración gravimétrica.

El resultado que se obtuvo al tratar el *non float* de la etapa de flotación en mesa vibrante se puede apreciar en la tabla 26.

La recuperación en mesa también es baja por las razones antes explicadas.

Tabla 26
Balance metalúrgico de la prueba de concentración en mesa vibrante, muestra, punto 1, segunda opción

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Concentrado	1,79	0,14	21,61	45,90	19,92
Segundas	18,19	1,39	1,68	35,50	15,41
Cola	80,03	6,13	0,20	18,60	8,07
Cabeza cal.	100,00	7,66	0,86	100,00	43,41

Fuente: elaboración propia.

El concentrado de mesa, por el contenido de impurezas de óxidos de hierro, es sometido a una etapa de separación magnética. El resultado es el siguiente:

Tabla 27
Balance metalúrgico de la prueba de separación magnética a partir del concentrado de mesa, muestra punto 1, segunda opción

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Magnético	61,69	0,09	0,16	0,46	0,09
No magnético	38,31	0,05	56,16	99,54	19,83
Cabeza cal.	100,00	0,14	21,61	100,00	19,92

Fuente: elaboración propia.

El producto no magnético es el concentrado final de casiterita; es un producto comercializable aunque la recuperación total es baja, pero ligeramente superior al tratamiento con la centrífuga.

2.2. Muestra punto 2

El contenido de estaño en el común de la muestra, determinado por cálculo, es de 0,17% Sn, considerando la fracción gruesa +2” que se ha dejado en el lugar luego de un pesaje; mientras que el común de la fracción -2”, determinado por análisis químico es de 0,25% Sn y una ley de azufre de 0,03%.

La densidad aparente de la muestra común es 1,743 g/cm^3.



Observación minuciosa de los sedimentos antes de la toma de muestras. Fotografía: Proyecto de Remediación Ambiental.

El análisis granulométrico se realizó en forma similar a la muestra del punto 1; es decir, tomando en cuenta todas las fracciones granulométricas presentes en la muestra y que en su mayoría son fracciones gruesas, como se puede apreciar en la tabla 28.

Tabla 28
Análisis granulométrico de la muestra común, punto 2

Tamaño de grano		Peso	Ley	Distribución
Pulg/Malla Ty	Milímetros	%	% Sn	%
+2"	+50	34,27	0	0,00
-2" +10#	-50 +1,70	29,30	0	0,00
-10# +65#	-1,70 +0,212	18,13	0,35	37,02
-65#	-0,212	18,30	0,59	62,98
Cabeza calculada		100,00	0,17	100,00

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que el peso de la fracción -65# se incrementa, aspecto que es positivo porque se cuenta con un mayor tonelaje de este material, comparando con la muestra del punto 1 que apenas es de 7,92%.

Para controlar el contenido de estaño en las fracciones finas, se efectuó un nuevo análisis granulométrico de una muestra común tal como llegó al laboratorio de concentración; es decir, de la muestra por debajo de dos pulgadas. El resultado es el siguiente:

Tabla 29
Análisis granulométrico de la fracción -2", del común

Tamaño de grano		Peso %	Ley % Sn	Distribución %
Malla Tyler	Micrones			
+10#	+1700	40,17	0	0,00
-10# +14#	-1700 +1180	2,94	0	0,00
-14# +20#	-1180 +850	3,17	0	0,00
-20# + 28#	-850 +600	3,27	0	0,00
-28# +35#	-600 +425	4,71	0,01	0,23
-35# +48#	-425 +300	5,41	0,30	7,93
-48# +65#	-300 +212	12,52	0,30	18,35
-65# +100#	-212 +150	4,94	0,34	8,21
-100# +150#	-150 +106	7,71	0,39	14,70
-150# +200#	-106 +75	8,11	0,59	23,39
-200#	-75	7,05	0,79	27,19
Cabeza calculada		100,00	0,20	100,00
Cabeza ensayada			0,25	

Fuente: elaboración propia.

Eliminando la fracción +65 mallas Tyler de este último análisis granulométrico, se tiene una cabeza calculada de 0,59% de estaño de la fracción -65 mallas Tyler. Con esta ley de cabeza y el correspondiente porcentaje del peso total se efectuarán los trabajos experimentales.

La preconcentración en el concentrador Falcon contiene poco sulfuro, con relación a la anterior muestra; por esta razón se altera el orden de tratamiento.

En primera instancia se efectúa el tratamiento en el concentrador Falcon. El resultado se ve a continuación:

Tabla 30
Balance metalúrgico de la prueba de preconcentración en el Falcon, muestra punto 2

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Preconcen.	29,60	5,42	1,52	76,17	47,97
Cola	70,40	12,88	0,20	23,83	15,01
Cabeza cal.	100,00	18,30	0,59	100,00	62,98

Fuente: elaboración propia.

Se obtiene un producto con un radio de enriquecimiento de 2,58 y con una buena recuperación, debido quizás a que en esta parte del río las partículas del mineral de estaño están mejor liberadas.

Con la fracción -65 mallas Tyler se efectuó la flotación de los sulfuros presentes en la muestra. El resultado es el siguiente:

Tabla 31
Balance metalúrgico de la prueba de flotación de sulfuros, muestra punto 2

Producto	% P, Etapa	% P, Total	% Sn	% D, Etapa	% D, Total
Sulfuros	0,74	0,04	0,64	0,28	0,13
Non float	99,26	5,38	1,53	99,72	47,84
Cabeza cal,	100,00	5,42	1,52	100,00	47,97

Fuente: elaboración propia.

Se elimina prácticamente todo el sulfuro y esto permite establecer que, aproximadamente, un 0,04% en peso del total corresponde a este material, menor cantidad que la que se encontró en la muestra del punto 1. Por otro lado, esta eliminación permite elevar ligeramente el contenido de estaño. También se puede mencionar que la operación de eliminación de sulfuros se realiza con alta eficiencia ya que más del 99% de la distribución de estaño se queda en el *non float*, debido a que las partículas de los sulfuros están completamente liberadas.

El *non float* de la flotación se somete a una concentración en mesa vibrante con el siguiente resultado:

Tabla 32
Balance metalúrgico de la prueba de concentración en mesa vibrante, muestra punto 2

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Concentrado	3,11	0,17	30,09	61,07	29,22
Segundas	8,73	0,47	4,82	27,43	13,12
Cola	88,15	4,74	0,20	11,49	5,50
Cabeza cal.	100,00	5,38	1,53	100,00	47,84

Fuente: elaboración propia.

En la concentración en mesa se obtiene una recuperación aceptable; esta recuperación tenderá a subir en la medida en que se efectúe la recirculación de los productos intermedios, como en este caso, las segundas de mesa.

El concentrado obtenido, como se puede ver en el balance, no tiene aún una ley comercial porque este producto está acompañado por una considerable cantidad de material magnético (magnetita y hematita, óxidos de hierro); por tanto, este producto debe todavía ser sometido a una etapa de separación magnética.

El concentrado de mesa, por el contenido de impurezas de óxidos de hierro, es sometido a una etapa de separación magnética. El resultado es el siguiente:

Tabla 33
Balance metalúrgico de la prueba de separación magnética a partir del concentrado de mesa, muestra punto 2

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Magnético	45,36	0,08	2,18	3,28	0,96
No magnético	54,64	0,09	53,27	96,72	28,26
Cabeza cal.	100,00	0,17	30,09	100,00	29,22

Fuente: elaboración propia.

El producto no magnético es el concentrado final de casiterita, es un producto comercializable. La recuperación total, aunque sigue

siendo baja, mejora considerablemente con relación al obtenido en el punto 1, aspecto que hace alentar mejores resultados en un análisis económico que debe efectuarse.

De la misma manera en que se realizó en el punto 1, en este punto se realiza la experimentación metalúrgica sin el uso del concentrador centrífugo Falcon; los resultados son los que se muestran a continuación.

Se efectuó la flotación de los sulfuros tomando en cuenta sólo la fracción -65 mallas Tyler. El resultado es el siguiente:

Tabla 34
Balance metalúrgico de la prueba de flotación de sulfuros, muestra punto 2, segunda opción

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Sulfuros	0,59	0,11	0,61	0,60	0,38
Non float	99,41	18,19	0,59	99,40	62,60
Cabeza cal,	100,00	18,30	0,59	100,00	62,98

Fuente: elaboración propia.

La poca cantidad de sulfuros eliminados no influye en la ley del *non float* que será alimentada a mesas para su concentración.

El resultado que se obtuvo al tratar el *non float* de la etapa de flotación en mesa vibrante es el siguiente:

Tabla 35
Balance metalúrgico de la prueba de concentración en mesa vibrante, muestra punto 2, segunda opción

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Concentrado	1,16	0,21	29,71	56,47	35,35
Segundas	16,50	3,00	1,11	30,03	18,80
Cola	82,34	14,98	0,10	13,50	8,45
Cabeza cal.	100,00	18,19	0,61	100,00	62,60

Fuente: elaboración propia.

La recuperación en mesa es buena considerando la fina granulometría de la muestra, favorecida por la eliminación de las lamas en la etapa de flotación de sulfuros.

El concentrado de mesa, por el contenido de impurezas de óxidos de hierro, es sometido a una etapa de separación magnética. El resultado es el siguiente:

Tabla 36
Balance metalúrgico de la prueba de separación magnética a partir del concentrado de mesa, muestra punto 2, segunda opción

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Magnético	43,54	0,09	0,14	0,21	0,07
No magnético	56,46	0,12	52,51	99,79	35,28
Cabeza cal.	100,00	0,21	29,71	100,00	35,35

Fuente: elaboración propia.

El producto no magnético es el concentrado final de casiterita, es un producto comercializable. La recuperación total mejora bastante con relación al punto 1 y también mejora con relación al uso del concentrador centrífugo, dando la impresión de que no es necesario un equipo centrífugo y que la granulometría no es tan fina como para recurrir a este moderno equipo. Con relación al uso de la centrífuga Falcon, un análisis económico permitirá establecer, como ya se ha manifestado, si podría ser rentable una operación industrial en estas condiciones.

2.3. Muestra punto 3

El contenido de estaño en el común de la muestra, determinado por cálculo, es de 0,20% de estaño; es la muestra que tiene poca cantidad de material grueso.

Se presume que la elevada ley de cabeza con relación a las otras muestras es que en ésta prevalece la granulometría fina; por otro lado, el común de la fracción -2", determinado por análisis químico, es de 0,30% de estaño y una ley de azufre de 0,09%.

La densidad aparente de la muestra común es 1,796 g/cm^3.

El análisis granulométrico se realizó en forma similar a las muestras de los puntos 1 y 2; es decir, tomando en cuenta todas las fracciones granulométricas presentes en la muestra, que en su mayoría son fracciones gruesas, como se puede ver en la tabla.

Tabla 37
Análisis granulométrico de la muestra común, punto 3

Tamaño de grano		Peso	Ley	Distribución
Pulg/Malla Ty	Milímetros	%	% Sn	%
+2”	+50	34,46	0	0,00
-2” +10#	-50 +1,70	27,27	0	0,00
-10# +65#	-1,70 +0,212	20,98	0,34	36,29
-65#	-0,212	17,29	0,58	63,71
Cabeza calculada		100,00	0,20	100,00

Fuente: elaboración propia.

La granulometría gruesa está en las fracciones intermedias ya que la fracción -65# es ligeramente inferior en peso que la muestra del punto 2.

Con la finalidad de efectuar un control respecto al contenido de estaño en las fracciones finas, se efectuó un nuevo análisis granulométrico de una muestra común tal como llegó al laboratorio de concentración; es decir, de la muestra por debajo de dos pulgadas. El resultado se aprecia en la tabla 38.

Eliminando la fracción +65 mallas Tyler, de este último análisis granulométrico se tiene una cabeza calculada de 0,58% de estaño de la fracción -65 mallas Tyler; entonces se trabajará con esta ley de cabeza.

La muestra en el concentrador Falcon contiene poco sulfuros, con relación a la anterior muestra; por esta razón se altera el orden de tratamiento. En primera instancia, se efectúa el tratamiento en el concentrador Falcon. El resultado se ve en la tabla 39.

Tabla 38
Análisis granulométrico de la fracción -2″, del común

Tamaño de grano		Peso %	Ley % Sn	Distribución %
Malla Tyler	Micrones			
+10#	+1700	41,46	0	0,00
-10# +14#	-1700 +1180	3,26	0	0,00
-14# +20#	-1180 +850	4,02	0	0,00
-20# + 28#	-850 +600	4,39	0	0,00
-28# +35#	-600 +425	6,45	0,01	0,35
-35# +48#	-425 +300	6,62	0,34	12,11
-48# +65#	-300 +212	11,87	0,34	21,73
-65# +100#	-212 +150	6,22	0,54	18,08
-100# +150#	-150 +106	4,82	0,64	16,61
-150# +200#	-106 +75	4,36	0,59	13,84
-200#	-75	6,55	0,49	17,28
Cabeza calculada		100,00	0,19	100,00
Cabeza ensayada			0,30	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 39
Balance metalúrgico de la prueba de preconcentración en el Falcon, muestra punto 3

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Preconcentración	40,04	6,92	1,23	84,56	53,87
Cola	59,96	10,37	0,15	15,44	9,84
Cabeza cal,	100,00	17,29	0,58	100,00	63,71

Fuente: elaboración propia.

Se obtiene un producto con un radio de enriquecimiento de 2,12 y con muy buena recuperación.

Con la fracción -65 mallas Tyler se efectuó la flotación de los sulfuros presentes en la muestra. El resultado es el siguiente:

Tabla 40
Balance metalúrgico de la prueba de flotación de sulfuros, muestra punto 3

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Sulfuros	1,19	0,08	0,10	0,09	0,05
Non Flota	98,81	6,84	1,24	99,91	53,82
Cabeza cal.	100,00	6,92	1,23	100,00	53,87

Fuente: elaboración propia.

Se elimina prácticamente todo el sulfuro y esto permite establecer que, aproximadamente, un 0,08% en peso del total corresponde a este material; por otro lado, esta eliminación permite elevar ligeramente el contenido de estaño. También se puede mencionar que la operación de eliminación de sulfuros se realiza con alta eficiencia ya que más del 99% de la distribución de estaño se queda en el *non float*.

El *non float* de la flotación se somete a una concentración en mesa vibrante con el siguiente resultado:

Tabla 41
Balance metalúrgico de prueba de concentración en mesa vibrante, muestra, punto 3

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Concentrado	3,20	0,22	24,35	62,87	33,84
Segundas	15,51	1,06	1,94	24,30	13,08
Cola	81,29	5,56	0,20	12,83	6,91
Cabeza cal.	100,00	6,84	1,24	100,00	53,82

Fuente: elaboración propia.

El concentrado obtenido no tiene aún una ley comercial porque este producto está acompañado por una considerable cantidad de material magnético (magnetita y hematita, óxidos de hierro); por tanto, este producto debe todavía ser sometido a una etapa de separación magnética.

En el proceso de concentración en mesa se obtiene una buena recuperación, aunque tenderá a subir una vez que se empiece a

recircular productos intermedios como las segundas de mesa que contienen una elevada distribución de estaño.

El concentrado de mesa, por el contenido de impurezas de óxidos de hierro, es sometido a una etapa de separación magnética. El resultado es el siguiente:

Tabla 42
Balance metalúrgico de la prueba de separación magnética a partir del concentrado de mesa, muestra punto 3

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Magnético	47,76	0,11	0,39	0,77	0,26
No magnético	52,24	0,11	46,25	99,23	33,58
Cabeza cal.	100,00	0,22	24,35	100,00	33,84

Fuente: elaboración propia.

El producto no magnético es el concentrado final de casiterita, es un producto comercializable aunque la recuperación total es baja, pero mejor que en los anteriores puntos. Un análisis económico permitirá establecer si en estas condiciones podría ser rentable una operación industrial.

Es pertinente efectuar la concentración sin incluir la centrífuga Falcon con la finalidad de comparar los resultados finales por cuanto en el proyecto final sería recomendable efectuar este análisis con la posibilidad de disminuir los costos de inversión.

Se efectuó la flotación de los sulfuros tomando en cuenta sólo la fracción -65 mallas Tyler. El resultado es el que se ve en la tabla 43.

La poca cantidad de sulfuros eliminados no influye en la ley del *non float* que será alimentada a mesas para su concentración.

El resultado que se obtuvo al tratar el *non float* de la etapa de flotación en mesa vibrante es el que se ve en la tabla 44.

Tabla 43
Balance metalúrgico de la prueba de flotación de sulfuros, muestra punto 3, segunda opción

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Sulfuros	0,75	0,13	0,30	0,39	0,25
Non float	99,25	17,16	0,58	99,61	63,46
Cabeza cal.	100,00	17,29	0,58	100,00	63,71

Fuente: elaboración propia.

Tabla 44
Balance metalúrgico de la prueba de concentración en mesa vibrante, muestra punto 3, segunda opción

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Concentrad	1,39	0,24	22,87	54,75	34,75
Segundas	16,03	2,75	0,87	23,96	15,21
Cola	82,58	14,17	0,15	21,29	13,51
Cabeza cal.	100,00	17,16	0,58	100,00	63,46

Fuente: elaboración propia.

La recuperación en mesa es buena considerando la fina granulometría de la muestra, favorecida por la eliminación de las lamas en la etapa de flotación de sulfuros.

El concentrado de mesa, por el contenido de impurezas de óxidos de hierro, es sometido a una etapa de separación magnética. El resultado es el siguiente:

Tabla 45
Balance metalúrgico de la prueba de separación magnética a partir del concentrado de mesa, muestra punto 2, segunda opción

Producto	% P. Etapa	% P. Total	% Sn	% D. Etapa	% D. Total
Magnético	53,39	0,13	0,49	1,14	0,40
No magnético	46,61	0,11	48,50	98,86	34,35
Cabeza cal.	100,00	0,24	22,87	100,00	34,75

Fuente: elaboración propia.

El producto no magnético es el concentrado final de casiterita, un producto comercializable; la recuperación total mejora con relación al punto 1 y con relación al uso de la centrífuga Falcon. Un análisis económico permitirá establecer, como ya se ha manifestado, si en estas condiciones podría ser rentable una operación industrial.

3. Resultados finales de la granulometría y densidad aparente de las muestras

Una relación de las granulometrías de las muestras estudiadas se muestra en la tabla 46, considerando el contenido de estaño en cada una de las fracciones granulométricas, así como la densidad aparente de cada una de ellas.

Tabla 46
Resumen de la granulometría y densidad de las muestras

Muestra N°	Tamaño de partícula, mm	Peso %	Ley % Sn	Distribución %	Densidad aparente, g/cm^3
Punto 1	+0,212	92,08	0,09	55,37	1,817
	-0,212	7,92	0,86	44,63	
	Alimentación	100,00	0,15	100,00	
Punto 2	+0,212	81,70	0,08	37,02	1,743
	-0,212	18,30	0,59	62,98	
	Alimentación	100,00	0,17	100,00	
Punto 3	+0,212	82,71	0,12	36,29	1,796
	-0,212	17,29	0,58	63,71	
	Alimentación	100,00	0,20	100,00	

Fuente: elaboración propia.

Se ha tomado como malla de corte la de 65, que equivale a 0,212 mm, porque las pruebas de recuperación de casiterita se realizaron con este tamaño de grano.

4. Resultados finales de las pruebas metalúrgicas

Un resumen de los resultados alcanzados en las pruebas experimentales se muestra en la tabla 47.

Tabla 47
Resumen de resultados de las pruebas metalúrgicas

Muestra N°	Producto	Peso total %	Ley % Sn	Distribución total, %	Contenido de azufre, %
Punto 1	Concentrado	0,05	56,16	19,83	
	Sulfuros	0,26	0,25	0,42	24,65
Punto 2	Concentrado	0,12	52,51	35,28	
	Sulfuros	0,11	0,61	0,38	25,46
Punto 3	Concentrado	0,11	48,50	34,19	
	Sulfuros	0,13	0,30	0,25	25,78

Fuente: elaboración propia.

De esta tabla se puede colegir que el concentrado obtenido es comercializable. La recuperación final es baja si se toma en cuenta que está considerada toda la carga; pero esta recuperación es buena si se toma en cuenta que sólo la fracción fina, -65 mallas Tyler, fue sometida a las pruebas experimentales.

También debe manejarse como criterio la recuperación alcanzada sobre el contenido de estaño recuperable, porque si bien químicamente pueden haber fracciones granulométricas gruesas en el lecho del río con contenidos de estaño de 0,10, por el enorme porcentaje de peso de esa fracción (85% de peso) el 43 % de la distribución total de estaño no entra en el proceso de tratamiento, y por lo tanto es como si no existiera ese estaño porque no hay tecnología disponible para su recuperación.

Lo que también interesa saber es el contenido de sulfuros en las muestras. Éstas varían en función de la distancia de los ingenios Morococala, Santa Fe y Japo hacia el puente Pairumani, cerca de la población de Aco Aco; y también varían —como ya se ha indicado— en profundidad. Si bien la presencia de sulfuros a lo largo de todo el trayecto del río es notoria, esta presencia es sólo en la parte superficial (entre diez a veinte centímetros de la superficie); a medida que se profundiza esa presencia disminuye considerablemente, y también disminuye hacia el puente de Pairumani. Lo que se incrementa es el material de magnético.

5. Resultados finales

De las observaciones realizadas durante la experimentación y los resultados alcanzados se puede colegir lo siguiente:

- Es posible obtener concentrados finales de casiterita, que pueden ser comercializados de materiales obtenidos en el lecho del río en diferentes profundidades.
- Se puede hablar de un contenido promedio de estaño de alrededor de 0,165% hasta a una profundidad de 0,60 metros. Este contenido puede enriquecerse aun más en profundidad en función de la presencia de materiales de gruesa granulometría.
- Si se considera sólo el tratamiento de la fracción fina, -65 mallas Tyler, los índices metalúrgicos alcanzados son aceptables y ello permite predecir tratamiento relativamente eficiente.
- La concentración centrífuga es una alternativa positiva en el intento de recuperar partículas finas de casiterita con una elevada eficiencia, aunque también se obtiene buenos resultados con el uso sólo de mesas vibrantes.
- El concentrado final, usando la centrífuga Falcon, tiene una ley de estaño de 52%, aproximadamente y una recuperación también aproximada de 25,5%; mientras que el concentrado final sin la intervención de la centrífuga también tiene una ley promedio de 52% de estaño y una recuperación total de 29,6%.
- Si bien este informe puede ser considerado como un aporte y una base para tomar una decisión respecto de un tratamiento industrial, sería conveniente efectuar un pilotaje con mayor tonelaje en un lugar intermedio del río.

Conclusiones

1. Sobre la geología, geomorfología, cobertura vegetal, pendientes y riegos de erosión de la subcuenca

- La subcuenca del río Pairumani ocupa una superficie de 15.265,3 hectáreas. Tiene su punto bajo en la salida del cauce de la cuenca, donde la elevación es 3.792,3 metros sobre el nivel del mar; en tanto que su punto más alto está situado a 4.726,5 metros sobre el nivel del mar. El cauce principal de la cuenca esta formado por el río Pairumani, que tiene una longitud aproximada de veinticinco kilómetros y una pendiente promedio de 4%.
- Dos eras geológicas se distinguen en la subcuenca del río Pairumani: la era del cenozoico, periodo cuaternario, fase andina, la cual está evidenciada casi en un 58,7% de la superficie; mientras que a la era del paleozoico, periodo devoniano y fase cordillerana, le corresponde el restante 41,3%. En las partes altas son visibles las formaciones volcánicas, en éstas se encuentran los centros mineros de Japo, Santa Fe y Morococala.
- El 40,8% de la superficie está ocupado por una formación geomorfológica de serranías lisas y pendiente suave, mientras que sólo una superficie menor a 0,5% está ocupada por zonas de actividad agrícola, zonas agropastoriles, laderas moderadamente disectadas y serranías redondeadas moderadamente disectadas, con pendientes moderadas. De forma general, en la parte central de la subcuenca circundante a las poblaciones de Pairumani y Aco Aco se observa superficies con mayor grado de disección y pendiente fuerte.

- En la parte alta de la subcuenca se evidencia una cobertura vegetal escasa, ésta ocupa una superficie de 72,49%; comunidades como Japo, Santa Fe y Morococala están en estas zonas. Por la parte central, la cobertura vegetal es más densa; ocupa ésta una superficie de 18,80%, en ella se encuentran las comunidades de Pairumani y Aco Aco. Especies como paja brava, *thola*, *añawaya* y otras son la vegetación predominante en estas zonas.
- El tipo de erosión predominante en la zona de estudio es el laminar, ocupa una superficie aproximada de 40,8%; le siguen surcos y cárcavas moderados, con 31,7%; luego surcos y cárcavas severos, con 18,8%, siendo éstos los más destacadas y relevantes en la zona del proyecto.
- La erosión está asociada directamente a la pendiente del terreno; las zonas de alto riesgo están en áreas cuyas pendientes están por encima del 15%; comunidades como Pairumani y Aco Aco son las que están principalmente afectadas por procesos erosivos.
- De acuerdo al análisis de riesgo y degradación de suelos, el 55,9% de la superficie de los suelos presenta un alto riesgo de erosión; el 22,3% presenta un riesgo moderado; el 16,4% un riesgo muy alto, y sólo el 4% de la superficie presenta un riesgo bajo. Estas cifras son alarmantes ya que evidencian el estado de deterioro de los recursos edafológicos en la región, razón por la cual la implementación de programas y planes dirigidos a hacer uso integral sostenible de los recursos naturales es esencial e importante en comunidades como Pairumani y Aco Aco.

2. Conclusiones del diagnóstico socioeconómico y ambiental

- Se ha podido verificar que en las localidades mineras de Morococala, Santa Fe y Japo el movimiento de población depende estrechamente de la producción minera, lo que tiene una dependencia directa con la cotización de los minerales. Las características entre estas localidades varían por el tipo de mineral y por las vetas existentes en sus socavones. Por esta razón, la población de Santa Fe soporta más necesidades y la cooperativa que opera en el lugar no cuenta con muchos socios. La causa de esta diferencia es que en esta localidad sólo

se explota complejos de plata, plomo y zinc, cuyos precios han sufrido caídas preocupantes en la pasada gestión. Sin embargo, en Morococala y Japo, el principal producto es el estaño de buena ley, lo que genera un beneficio mayor a sus habitantes, hace que se asienten o retornen las familias a las localidades y atrae un importante movimiento económico por los servicios requeridos por los habitantes.

- En cambio, aguas abajo de la subcuenca de Morococala, Santa Fe y Japo, la situación de las localidades de Aco Aco y Pairumani refleja la realidad de la mayoría de las comunidades agrícolas del altiplano: un gran porcentaje de los habitantes sólo visitan estos lugares en épocas de siembra y cosecha; son recursos humanos que no retornan a las poblaciones. Sólo apoyan al desarrollo o subsistencia de la zona las personas ancianas y los adultos que ya no tienen expectativas en las ciudades. De esta manera, la cantidad de habitantes encontrados en la zona fue menor al 50% esperado.
- De manera general, sobre la base de los resultados obtenidos en cada una de las localidades y de la comparación de éstos, se ha podido establecer que el área de estudio se puede subdividir en dos zonas con realidades y características demográficas, sociales y económicas totalmente diferentes; el único factor común el es el componente ambiental.
- La zona A (las localidades mineras), ubicada en el nacimiento de la subcuenca, está compuesta por las localidades de Morococala, Santa Fe y Japo. Es la zona que genera la contaminación ambiental porque allí es donde se encuentran las principales fuentes de generación de drenaje ácido de roca que contamina las aguas.
- La zona B (las localidades aguas abajo de la subcuenca) está compuesta por las comunidades agrícolas de Aco Aco y Pairumani; este sector es considerado el de mayor impacto puesto que las aguas que fluyen por los ríos, además de tener características ácidas, depositan los sedimentos arrastrados desde el sector minero.

- El diagnóstico sobre la características demográficas del área de influencia refleja un gran movimiento de población que depende de la actividad económica de las zonas de influencia. La producción de la mina ejerce una influencia decisiva para que las familias se instalen o migren de las zonas mineras; en mayor porcentaje se trata de familias íntegras, y se ha podido verificar que existen familias jóvenes con un número de componentes mayor a los promedios departamentales; son niños o adolescentes que dependen únicamente de los ingresos del jefe de hogar, que es el padre. En porcentajes bajos son las madres las jefas de hogar, cosa que se da principalmente por la viudez debido a la inseguridad de los trabajos en interior mina.
- En el caso de las localidades de Aco Aco y Pairumani, el movimiento de población no es reciente. Las pésimas condiciones para la agropecuaria han generado la migración de las familias jóvenes; son los ancianos que decidieron quedarse en sus terrenos quienes permiten la subsistencia de la actividad agrícola. Por otro lado, son ellos los que resguardan los terrenos de sus hijos, que retornan al lugar sólo en épocas de siembra y cosecha.
- Respecto del grado de instrucción y calidad de educación, las localidades mineras muestran un elevado índice de cobertura en educación, toda vez que cuentan con infraestructura principalmente hasta el nivel secundario, y los estudiantes cuentan con el apoyo de sus padres, quienes a su vez tienen instrucción secundaria terminada e inclusive superior e incentivan a que sus hijos busquen formación profesional en las universidades. Por tanto, hay bajos índices de abandono escolar.
- Son otras las razones por las que los hijos no lleguen a la universidad: no sólo la falta de dinero, sino porque muchos tienen que buscar trabajo para sostener a la familia que forman apenas salen bachilleres.
- En las localidades de Aco Aco y Pairumani, las limitaciones empiezan por la calidad de educación. La mayoría de los jóvenes debe separarse de su hogar para continuar estudios secundarios; y una vez bachilleres cuentan con muy pocas posibilidades de continuar estudios universitarios, principalmente

por carencias económicas. Sólo aquellos jóvenes cuyos padres desarrollan otras actividades fuera de la localidad cuentan con esa posibilidad.

- Similar diferencia se encuentra en el acceso a los servicios básicos. Las localidades mineras tienen la posibilidad de contar con servicios como energía eléctrica, alcantarillado, agua potable, infraestructura de salud con personal permanente. Son servicios posiblemente regulares a malos, pero en todo caso son muchísimo mejores que en las localidades de Aco Aco y Pairumani.
- Las actividades principales de las zonas de influencia se pueden diferenciar entre actividad minera para la zona A y actividad agrícola para la zona B, donde además hay un fuerte componente pecuario. Además, hay actividades complementarias como trasporte, comercio y actividades de servicio.
- Los principales productos mineros son estaño y complejo de plata, plomo y zinc; y los principales productos agrícolas son haba, papa, oca, alfalfa.
- Entre la variedad de productos secundarios se encuentra la producción de carne de res, oveja y llama; lana, derivados lácteos y leche; prendas de vestir y otros. En todas las localidades de la subcuenca está presente el componente agrícola y pecuario.
- Los ingresos económicos de las localidades mineras hacen que podamos referirnos a este sector como fuera de los umbrales de pobreza; pero su baja calidad de vida se debe a que la población no tiene la visión de permanecer en el lugar a futuro, su permanencia esta en función de la producción del mineral. En el caso de las localidades de Aco Aco y Pairumani, la pobreza es una realidad; la migración es la única solución encontrada por la población hasta el momento.
- El principal problema común entre las dos zonas de influencia es la contaminación de las aguas, que contienen sedimentos mineros. Arriba de la subcuenca, la actividad minera genera esta agua; y abajo de la subcuenca son las localidades campesinas las que se ven más afectadas.

- En consecuencia, una de las primeras necesidades es el tratamiento de las aguas ácidas que fluyen por la subcuenca, y luego la eliminación de los sedimentos aguas abajo.
- Por otro lado, la necesidad de proyectos locales para cada uno de los sectores es una de las debilidades sobre la que deberían actuar propios y extraños; en las localidades mineras el deterioro de los servicios básicos es evidente y no se cuenta con planes que busquen su mejora. En Aco Aco y Pairumani no existen proyectos a diseño final para colectar aguas o la remediación ambiental de la zona.
- Entre los potenciales identificados en el área de influencia está el turismo, que cuenta con el apoyo de los habitantes toda vez que la subcuenca está conectada también por caminos antiguos que muestran yacimientos arqueológicos y culturas ancestrales interesantes.

3. Conclusiones del retratamiento de los sedimentos de los lechos de los ríos de la subcuenca

- La caracterización de los sedimentos del lecho del río ha permitido establecer la presencia de estaño liberado del resto de minerales con una ley promedio de 0,17%, en fina granulometría; también se ha evidenciado la presencia de una importante cantidad de sulfuros, que representan más del 3% en peso.
- En las pruebas experimentales, el retratamiento de los sedimentos del río Pairumani-Aco Aco ha demostrado ser una técnica viable para recuperar el mineral de estaño que se encuentra en fina granulometría, empleando la concentración centrífuga o la concentración gravimétrica.
- Considerando una longitud del cauce del río de siete kilómetros, un ancho promedio de 85 metros y una profundidad de 1,5 metros, además de una densidad aparente promedio de los sedimentos de 1,75 gramos por centímetro cúbicos, se tendría un tonelaje disponible de casiterita de 1,5 millones de toneladas, lo que equivaldría a 10,9 millones de dólares de ingreso, considerando una cotización de 6,23 dólares por libra fina de estaño y una recuperación experimental de 29,8%.

- El dimensionamiento de la planta de tratamiento industrial establece que debe tratarse 1.700 toneladas por día; a este ritmo de trabajo, el proyecto tendría una duración de 3,7 años.
- El costo de equipo y maquinaria requeridos en el proyecto es de 1,76 millones de dólares. Por tanto, la inversión se aproxima a 4,96 millones de dólares; la utilidad sin impuestos que alcanza el proyecto es de *2,2 millones de dólares,* aproximadamente; si se le resta el 25% por impuestos a las utilidades, se obtiene una utilidad neta de *1,7 millones de dólares,* aproximadamente.
- Si a esto se suma el monto por depreciación y si se resta el pago por amortizaciones originado en la obtención de un crédito por el 90% del total de la inversión propuesta, se obtiene un flujo de fondos neto anual del proyecto, que alcanza a la suma de *1.033.047,53 dólares, en el primer año del proyecto*, hasta llegar al último año a la suma de *1.334.709,33 dólares estadounidenses*.
- El valor actual neto (VAN) alcanza la suma de *1.997.923,99 dólares*, a una tasa de retorno del 30%.
- La tasa interna de retorno (TIR) alcanza a *214,43%*, lo que representa la rentabilidad interna del proyecto; o sea que dada la inversión, el dinero utilizado en el proyecto alcanza una rentabilidad de 214% aproximadamente, por lo que el proyecto, para este caso en particular, es altamente atractivo.

Segunda parte

Propuesta de intervención

CAPÍTULO I

Retratamiento de sedimentos del lecho del río

1. Antecedentes

El manejo de cuencas es un proceso que se construye con la población y las instituciones locales y regionales para afrontar los problemas y sus consecuencias negativas en la degradación de los recursos naturales. Si bien el rol de los que intervienen en este proceso puede cambiar según la etapa en que éste se encuentre, sólo la participación y los compromisos harán posible que las demandas se conviertan en hechos y den resultados que beneficien a toda la población toda una cuenca, de sus partes altas y bajas así como de sus áreas de influencia.

Los proyectos de manejo de cuencas permiten dar respuestas integrales, enfrentando las diferentes causas que pueden originar los problemas y considerando para ello procesos participativos en distintas etapas o momentos. Para llevar adelante un proyecto de manejo de cuencas se toma en cuenta las particularidades del área de influencia, a fin de que las propuestas respondan a las necesidades locales y estén al alcance de las distintas comunidades.

La propuesta concentra esfuerzos que sirven de base para el arranque de un desarrollo sostenido que contribuirá a los procesos en etapas posteriores y en acciones paralelas, considerando trabajos con los propios beneficiarios para el mejor aprovechamiento de los componentes de la cuenca y mitigar la erosión y los riesgos físicos, sociales, económicos, productivos y ambientales.

Por tanto, la gestión integral de la subcuenca del río Japo-Pairumani permitirá implementar el desarrollo económico local sostenible favoreciendo a las comunidades que viven en sus microcuencas y en sus frágiles y muy diversos ecosistemas.

2. Marco lógico

Tabla 48
Matriz del marco lógico de la propuesta

Resumen narrativo	Indicadores objetivamente verificables		Fuentes de verificación	Supuestos
	Sin proyecto	Con proyecto		
Objetivo superior: Contribuir a mejorar las condiciones de vida de las comunidades que se encuentran en la subcuenca Japo-Pairumani a partir de la remediación ambiental del área afectada a lo largo del río Japo- Pairumani.	- Aun cuando ya no se eche las colas de actividades minerales al río Japo - Pairumani, seguirá produciéndose DAR, por los residuos sulfurosos que se encuentran en todo el río. - Numerosas familias campesinas se han visto afectadas por la contaminación de sus aguas y sus tierras por la intensa actividad minera en la región, afectando su medio de vida y sus ingresos.	La zona afectada por la contaminación ambiental será remediada y las familias campesinas volverán a tener agua no contaminada; ello redundará en mejorar la calidad de los suelos, las siembras y la crianza de ganado, permitiendo mejorar su estándar de vida y sus ingresos. La calidad ambiental de la subcuenca habrá mejorado significativamente.	-Diagnósticos agro socioeconómicos. -Reuniones y entrevistas con los campesinos de la comunidad. -Informes periódicos de la entidad ejecutora. Comparación de la calidad ambiental del área después del proyecto respecto de la calidad ambiental determinada en estudios de línea base actual.	- El equipo técnico de tratamiento de minera-les y protección medio-ambiental, tiene experiencia en este tipo de trabajos. - Los precios del estaño en el mercado internacional son favorables y debe aprovecharse esta situación. Hay voluntad política institucional de remediar el medio ambiente.
Objetivos específicos: El objetivo superior del proyecto será cumplido sobre la base de la ejecución de los siguientes objetivos específicos: - Retratamiento de los sedimentos para recuperar el estaño fino. - Separación de sulfuros en el proceso de retratamiento. - Desarrollo local de las comunidades afectadas a partir de los ingresos económicos del retratamiento.	-Aunque las condiciones actuales son favorables a la implementación de proyectos mediambientales, es difícil acceder al financiamiento respectivo, especialmente si no hay retorno. -Se trata de un pasivo generado por empresa productiva, o hay debilidad jurídica o institucional. -La gran superficie contaminada eleva enormemente el costo de una posible remediación, mostrando escasas posibilidades para efectivizarla.	-Con la construcción de la planta de tratamiento se pretende recuperar la casiterita fina del lecho del río y pagar la remediación. - Se pretende también recuperar los sulfuros que son fuente de contaminación y disponerlos de acuerdo a normas vigentes en la actualidad.	-Registros o mediciones de calidad de aguas, suelos y vegetación después de implementar el proyecto. - Organización de las comunidades - Personal técnico de la empresa Huanuni. - Personal especializado del laboratorio Spectrolab y personal técnico de la UTO.	- La planta de tratamiento ha sido implementada de acuerdo a proyecto. - La recuperación de la casiterita es una realidad y su venta paga el proyecto de remediación del área afectada. - Se recupera también los sulfuros contaminantes y se los dispone de acuerdo a normas. - La población del área afectada verifica en los hechos la remediación garantizada por la generación de ingresos del mismo proceso de remediación para cubrir sus costos.

(Continúa en la siguiente página)

(Continuación de la anterior página)

Resultados: - El área contaminada ha sido restaurada. - Construcción de la planta de tratamiento. - Generación de fuentes de trabajo en esta planta. - Generación de divisas para pagar toda o parte de la remediación ambiental del área afectada. - Eliminación de los minerales sulfurosos que son los que contaminan tanto las aguas subterráneas como los suelos.	- El área afectada por la contaminación continúa así y sigue afectando a los pobladores del lugar. - No existe planta de tratamiento. - No existe generación de empleos. - No se genera ingresos para pagar la remediación ambiental. - Los sulfuros permanecen en el lecho del río y con ello continúa la contaminación por tiempo indefinido, a pesar de la construcción del dique de colas.	- Se ha descontaminado la zona afectada. - Se ha construido la planta de procesamiento - Se ha generado fuentes de trabajo. - Se ha generado divisas para pagar la remediación ambiental. - Se ha recuperado los minerales sulfurosos que contaminan y se ha dispuesto de acuerdo a normas vigentes.	- Seguimiento y supervisión de las obras durante su ejecución. - Entrega y puesta en marcha de la planta de tratamiento. - Entrevistas y encuestas en la comunidad. - Análisis químicos de la calidad de aguas, suelos y vegetación. - Libro de actas de la comunidad.	- Se ha cumplido con las especificaciones técnicas y administrativas de las obras proyectadas. - Se ha ejecutado los trabajos de operación y producción de casiterita. - Los minerales sulfurosos han sido recuperados y dispuestos de acuerdo a normas. - La entidad financiadora desembolsa los recursos oportunamente.

Fuente: elaboración propia.

3. Situación sin proyecto

Numerosas familias campesinas de la subcuenca Pairumani se han visto afectadas por la contaminación de sus aguas y sus tierras debido a la intensa actividad minera en la región, lo que ha afectado su calidad de vida y sus ingresos económicos. Aunque las condiciones actuales son favorables para la implementación de proyectos medioambientales, les es difícil acceder al financiamiento si no hay retorno económico.

Por otro lado, aun cuando ya no se eche colas mineras al río Japo-Pairumani, seguirá produciéndose drenaje ácido de roca por los residuos sulfurosos que se encuentran a lo largo y ancho del río y su impacto será permanente tanto en las aguas subterráneas como en los suelos colindantes con el río.

La gran superficie contaminada, especialmente desde Pairumani hasta Aco Aco, eleva enormemente el costo de una posible remediación y muestra escasas posibilidades de realización mediante inversiones a fondo perdido de países cooperantes interesados en efectuar cuidados al medio ambiente.

Por tanto, si no se toman decisiones efectivas en cuanto a la remediación ambiental de toda la zona afectada, que exijan la participación de todos los involucrados (la Corporación Minera de Bolivia, los municipios del sector, el gobierno departamental de Oruro y los pobladores afectados en general), la contaminación seguirá incidiendo negativamente por tiempo indefinido.

3.1. Estudio de mercado

Uno de los factores positivos de esta propuesta es que no es necesario efectuar un estudio de mercado del producto final que se obtendrá, como son los concentrados de estaño, porque de hecho estos concentrados se comercializan a buenos precios tanto en el mercado interno como en el externo.

Otro factor positivo es el precio actual que tiene el estaño, que se encuentra estable en valores que están por encima de los seis dólares estadounidenses por libra fina.

3.2. Demanda

Los concentrados de estaño son requeridos por empresas fundidoras como la Metalúrgica de Vinto, ubicada en la localidad de Vinto (cerca de la ciudad de Oruro), y la empresa Operaciones Metalúrgicas S.A., ubicada en la zona industrial de Huajara (departamento de Oruro).

Por otro lado, existen numerosas comercializadoras que compran estos concentrados para exportarlos a precios competitivos. Por tanto, no hay riesgo de que no se pueda vender el producto final del proyecto, ya que seguirá existiendo demanda comercial.

3.3. Oferta

Es de conocimiento público que a pesar de que muchas empresas mineras, cooperativas mineras, mineros chicos y personas particulares en general se dedican a la producción de concentrados de estaño, no sólo en Oruro sino también en Potosí y La Paz, éstos no son suficientes para satisfacer la demanda de las fundidoras y de las comercializadoras de minerales.

3.4. Ingresos y egresos en la situación sin proyecto

Cualquier proyecto de remediación ambiental implica una serie de gastos, generalmente no reembolsables. Desde esa perspectiva es conveniente señalar que no existen ingresos para las comunidades y pobladores afectados por la contaminación, salvo que ellos también se dediquen a extraer estaño en condiciones precarias y difíciles, logrando un ingreso mínimo de subsistencia. ¿Cuánta gente se puede ocupar de esta actividad? Muy poca. Esta situación ya puede ser observada en la actualidad, se puede contar con los dedos de las manos a los que están trabajando a lo largo del río Japo-Pairumani. Por el contrario, hay muchos gastos para paliar en algo las "enfermedades" y las situaciones críticas provocadas por la contaminación de las aguas subterráneas y suelos.

4. Situación con proyecto

Será difícil lograr un financiamiento a fondo perdido para remediar toda la contaminación que actualmente se tiene en la zona, pero si se recupera un elemento tan comercialmente valioso como es el estaño (como mineral de casiterita) que se encuentra en el lecho del río, acumulado por décadas de actividad minera, se puede allanar esta dificultad; y, dependiendo de la cotización en el mercado internacional, se puede no sólo costear todo el proyecto de remediación sino subvencionar otros gastos que requiera toda esta compleja tarea.

La implementación de un proyecto de esta naturaleza permitirá, en primer lugar, la eliminación de todas las fuentes de contaminación actual; es decir, que ya no se verterá más desechos, ni sólidos ni líquidos al río; por otro lado, se efectivizará la remediación ambiental de toda el área contaminada con residuos mineros que han reducido al mínimo todas las actividades económicas campesinas tradicionales, tanto pecuarias como agrícolas.

Una vez implementado el proyecto, ya no habrá contaminación ni de suelos ni de aguas subterráneas; habrá condiciones óptimas para la crianza de ganado de todo tipo; la gente del lugar podrá dedicarse nuevamente, y con mayor fuerza, a labores agropecuarias, a cultivar productos no sólo para autoabastecerse sino para venderlos en los mercados y mejorar su situación económica.

Pero para efectivizar un proyecto de esta envergadura es necesario realizar tareas previas para obtener la información necesaria.

4.1. Atenuantes para obtener información preliminar

Con la remediación ambiental del río Japo-Pairumani, se cortará la fuente de contaminación potencial que se infiltra a las aguas subterráneas, a los pozos que existen en el área y que antes eran fuente de provisión para riego, alimentación del ganado y uso de la población. Ya que ahora estas aguas no tienen calidad, se evita su uso en el consumo humano y también de los animales, porque afecta la salud de todos los seres vivos, les provoca enfermedades y hasta la muerte si consumen agua de lugares donde los metales pesados tóxicos están muy concentrados.

Si las corrientes de aguas subterráneas no entran más en contacto con las aguas contaminadas que se infiltran desde el río Japo-Pairumani, empezarán a descontaminarse y en algún tiempo volverán a tener por lo menos la categoría de aguas de clase C, aptas para riego y que con algún tratamiento podrían volver a ser usadas para consumo humano.

El área que cubre el río Japo-Pairumani tiene aguas superficiales y subterráneas contaminadas y también contaminación en los suelos aledaños a la ribera del río, por tanto la vegetación existente en la zona también está contaminada.

Se trata de una región eminentemente minera, donde la explotación de minerales se daba desde mucho antes de la promulgación de las leyes ambientales y siguió aun después de su puesta en vigencia. Con todo eso, las autoridades regionales y departamentales han descuidado absolutamente la protección medioambiental como manda y dispone la Ley 1333 en sus artículos 17, 18 y 19 .

Era tal el movimiento económico de la región por efecto de la minería, tanto en épocas de bonanza como de crisis de los precios minerales, que acalló en forma permanente las pocas voces de reclamo de quienes todavía se ocupan de la agricultura y ganadería.

Para aplacar ese reclamo, las empresas absorbían a los jóvenes del lugar y éstos intercedían ante sus padres, agricultores, ganaderos y dirigentes comunales, para que pararan sus protestas.

Ante todo esto, debe haber una convicción colectiva de autoridades, empresas mineras, pobladores y otros componentes del entorno sobre que no se debe seguir descargando al río las colas de los ingenios de Morococala, Santa Fe y Japo. Pero además debe pensarse en una solución práctica para descontaminar el río Japo-Pairumani.

Existen diferentes alternativas, ya se ha dicho antes, que podrían llevarse a cabo. Unas son más caras que otras, unas más eficientes que otras; pero todas giran en torno al financiamiento que podría conseguirse para aplicar tecnologías que vayan desde una descontaminación natural, después de eliminar los focos contaminantes, hasta una canalización e impermeabilización del cauce del río, pasando por otras opciones intermedias.

Dentro de estas alternativas debería considerarse seriamente el *retratamiento de los sedimentos mineralizados depositados en el río*.

Todas las alternativas tienden a solucionar el problema. Las opciones deben ser valoradas sobre la base de varios aspectos como los criterios BAT, BATEA o BATEASA, pero el criterio que en definitiva permitirá llevar adelante algún proyecto para la remediación ambiental será el componente económico.

A continuación, se muestra los pasos previos para encontrar una justificación técnica y económica, para demostrar que el proceso del retratamiento es una alternativa objetiva y práctica para la remediación ambiental del área afectada a lo largo del río Japo-Pairumani, principalmente desde Pairumani hasta Aco Aco.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

- Estudiar técnica, económica y ambientalmente que el proceso del retratamiento como una alternativa objetiva y práctica

para la remediación ambiental del área afectada a lo largo del río Japo-Pairumani.

5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los sedimentos del lecho del río Pairumani-Aco Aco mediante muestras representativas de por lo menos tres sectores a lo largo del río partiendo de un punto cerca de la población de Pairumani.
- Estudiar la recuperación de estaño fino mediante pruebas experimentales en laboratorio para ver la factibilidad de recuperar el mineral que se encuentra en fina granulometría empleando la concentración centrifuga o la concentración gravimétrica.
- En caso de ser favorable el anterior punto, diseñar y dimensionar una planta de tratamiento industrial,.
- Realizar un análisis y evaluación económica sobre la base de los resultados del anterior punto.

5.3. Resultados esperados

- Una planta de tratamiento diseñada y dimensionada
- Recuperación de la casiterita fina de los sedimentos del lecho del río, económicamente rentable y técnicamente posible
- Lecho del río remediado con la separación y disposición final de los sulfuros presentes para evitar la generación de drenaje ácido de roca

5.4. Metas del proyecto

- Generación de excedentes económicos para costear la remediación ambiental de la subcuenca Japo-Pairumani.
- Generación de fuentes de trabajo, directas e indirectas.
- Desarrollo local de las comunidades afectadas con las utilidades del retratamiento de los sedimentos contaminados de la subcuenca Japo-Pairumani.

- Desarrollo del aprovechamiento sostenido de los recursos naturales y conservación, recuperación y protección de la flora y fauna de la subcuenca Japo-Pairumani.

6. Estrategia de ejecución

El proyecto debe considerar los siguientes aspectos:

6.1. Reservas

Si bien la extensión del río es muy larga, sólo se ha tomado en cuenta una extensión a la que se puede acceder con maquinaria para realizar el trabajo de recuperación de estaño; en este sentido se ha calculado una superficie de 0,70 kilómetros cuadrados. Si se considera el dragado del río hasta una profundidad de 1,5 metros, se tendrá un volumen total de 1.050.000 metros cúbicos. Si la densidad aparente es de aproximadamente 1.785 toneladas por metro cúbico, se tendrá un tonelaje de 1.874.250 toneladas con un contenido mínimo de estaño de 0,17%.

6.2. Agua

El aprovisionamiento de agua para un proyecto de esta envergadura no será problema ya que se proveerá del mismo río. El nivel freático de este río está entre 60 a 80 centímetros de la superficie.

6.3. Tamaño de la planta

Cuanto menor es el contenido de un elemento valioso en el mineral, como en este caso, mayor debe ser el tonelaje tratado y por tanto mayor debe ser el tamaño de la planta para conseguir condiciones de rentabilidad. No se puede pensar en tratar tonelajes menores a 1.700 toneladas por día, no sería rentable; este aspecto se analizará mas adelante. También debe considerarse que al tratar un tonelaje importante de carga de lecho del río se obtendrá una cantidad de por lo menos el 0,17% en peso de material sulfuroso y que solamente el 14,50% en peso, aproximadamente, debe ser tratado para la recuperación de la casiterita; el resto es material de descarte que debe ser adecuadamente dispuesto, seguramente en ambas orillas del río.

6.4. Tiempo de tratamiento

Otro aspecto importante que debe tomarse en cuenta es el tiempo que se requiere para mover todo el tonelaje mencionado. Seguramente, para la población de las comunidades afectadas este tratamiento debería efectuarse en el menor tiempo posible; pero el tiempo lo determinará el tamaño de la planta, y el tamaño de la planta estará en función del resultado económico.

Sólo a modo de ejemplo se puede manifestar que para mover 1.700 toneladas por día se necesitará casi cuatro años, esto es para mover el tonelaje que se encuentra en el lecho del río a una profundidad de 1,5 metros, desde la población de Pairumani hasta el puente de Pairumani, carretera asfaltada Oruro-Machacamarca.

6.5. La cotización del estaño

El factor determinante en este proyecto es la cotización del estaño. Hasta hace unos seis años era imposible imaginarse un proyecto autofinanciado de esta naturaleza. Por ese entonces, la cotización del estaño estaba en alrededor de 2,5 dólares la libra fina. Hoy por hoy esta cotización se ha elevado a seis dólares la libra fina, lo que puede posibilitar el éxito del proyecto.

Pero no es menos cierto que no se puede garantizar una cotización tan alta en forma indefinida. Así como ha subido, el precio del estaño puede bajar. Entonces las decisiones importantes se las debe tomar ya.

6.6. Los residuos

Si se efectiviza la construcción y posterior operación de la planta, ésta descartará residuos sólidos y líquidos. Gran parte de los residuos sólidos será grava gruesa de diferente granulometría que, por razones prácticas, debe ser depositada en ambas riveras del río; los residuos líquidos de esta operación de "clasificación" serán descartados al río nuevamente, ya que contendrán sólo partículas finas en suspensión que, con un manejo adecuado, no deberían impactar negativamente en el medio ambiente.

No será lo mismo con la fracción fina, -65 mallas Tyler, que debe ser tratada para la recuperación de la casiterita y que debe contar con una etapa de flotación de sulfuros para la recuperación de éstos usando reactivos. La planta de tratamiento de estos finos debe considerar este aspecto; por tanto, debe proyectarse un dique de colas de sulfuros de acuerdo a normas vigentes en el país para residuos de esta naturaleza. Los óxidos (los que no tengan sulfuros) deben ser devueltos al lecho del río.

7. Diseño de la planta de tratamiento

Tomando en cuenta solamente el hecho de que la población afectada por la contaminación del río Japo-Pairumani no puede esperar largo tiempo por la remediación ambiental, se deberá pensar en mover por lo menos 1.700 toneladas al día.

A este ritmo, el proyecto duraría aproximadamente 3,7 años. Entonces, tomando en cuenta este aspecto se diseñará la planta para este tonelaje.

Otro aspecto importante que se debe considerar es que se requerirá una planta móvil, una draga que remueva el material del río desde el distrito de Pairumani hasta el puente del mismo nombre, en la carretera asfaltada Oruro-Machacamarca, para efectuar la clasificación y lavado del material extraído; y una planta fija para el tratamiento del material fino clasificado y posiblemente preconcentrado.

7.1. Planta móvil, draga

La draga flotante deberá tener una capacidad de extracción de 45 metros cúbicos por hora de carga del lecho del río, este volumen equivale a tratar 1.700 toneladas por día. La draga debe tener capacidad y suficiente espacio para instalar todo el sistema de clasificación que se requiere y, de ser posible, también los equipos de preconcentración necesarios (*jigs* y centrífugas Falcon).

- Un *trommel* con tres aberturas de descarga, la más gruesa de dos pulgadas, luego de una pulgada y la externa con un cuarto de pulgada y con capacidad de tratamiento de setenta toneladas por hora.

- Un clasificador vibratorio de dos pisos con mallas de corte de un milímetro en la parte superior y 0,212 milímetros en la parte inferior, para tratar un tonelaje aproximado de 50,5 toneladas por hora.

En la draga debe instalarse el circuito de cernido y clasificación con los equipos que se muestran en la figura 16.

También debe considerarse la posibilidad de instalar los concentradores centrífugos Falcon en la draga con la finalidad de evacuar las colas directamente al río.

7.2. Planta fija

Ésta debe ser diseñada para el tratamiento de 250 toneladas por día, que será la fracción fina -65 mallas Tyler que producirá la draga. Esta planta, que será implementada seguramente en un lugar intermedio de la trayectoria del río Japo-Pairumani, debe contar con los siguientes equipos:

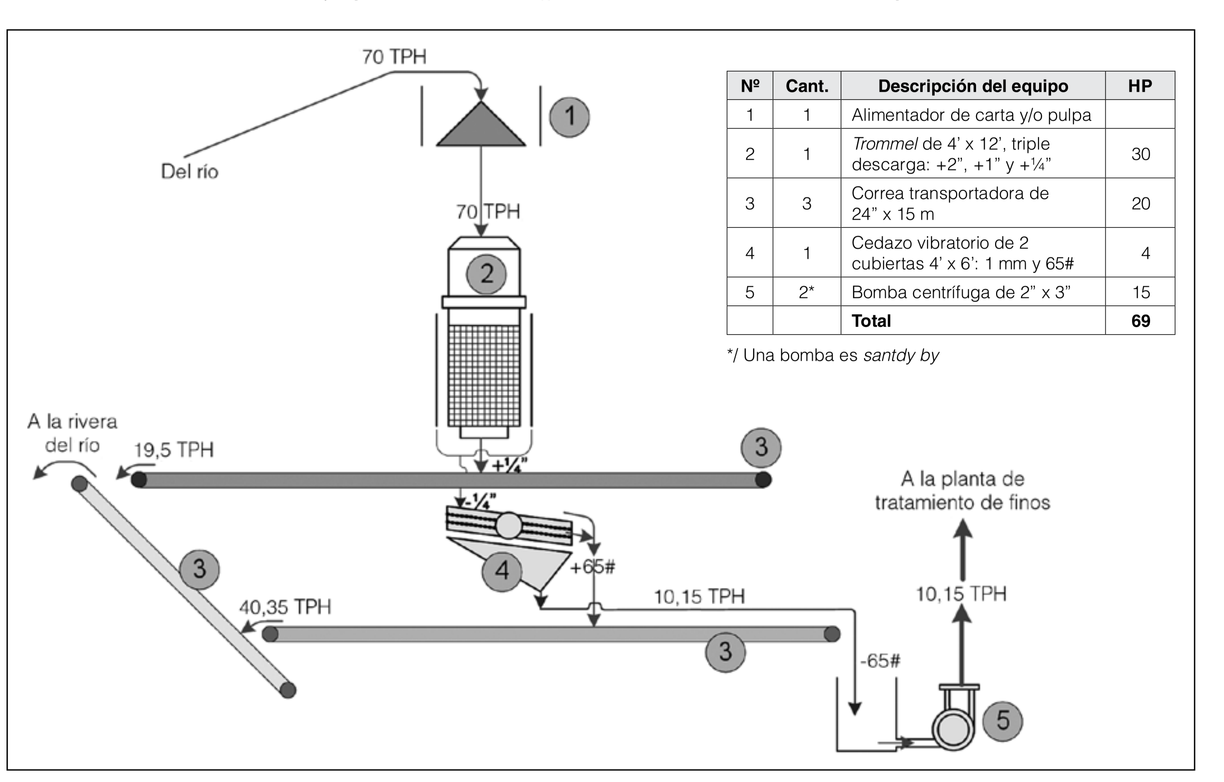
- Trece mesas concentradoras con capacidad de tratamiento de 250 toneladas por día
- Una batería de celdas con capacidad de tratamiento de siete toneladas por día (figura 17)

Estos equipos y otros que son necesarios deben ser instalados en la futura planta de procesamiento, de acuerdo a lo que se ha esquematizado en la figura 17.

7.3. Dimensionamiento, selección y valor de los equipos

Para el cálculo de capacidades y tamaño de maquinaria requeridas tanto en la draga como en la planta de concentración, se ha utilizado métodos descritos por autores como A. F. Taggart, N. L. Weis, J. Currie y otros; también se ha utilizado catálogos ampliamente conocidos como las firmas Denver, Allis Chalmer, etc. Para estimar el valor de los equipos se ha recurrido a *Capcosts*, de Andrew L. Mular y Richard Poulin.

Figura 16
Flujograma de la etapa de clasificación en la draga



Nº	Cant.	Descripción del equipo	HP
1	1	Alimentador de carta y/o pulpa	
2	1	*Trommel* de 4' x 12', triple descarga: +2", +1" y +¼"	30
3	3	Correa transportadora de 24" x 15 m	20
4	1	Cedazo vibratorio de 2 cubiertas 4' x 6': 1 mm y 65#	4
5	2*	Bomba centrífuga de 2" x 3"	15
		Total	**69**

*/ Una bomba es *santdy by*

Fuente: elaboración propia.

Figura 17
Flujograma de concentración centrífuga y gravimétrica de la planta fija de procesamiento

10,15 TPH
Material fino, -65#, de la draga
Agua al ingenio
Energía al ingenio
Al estanque de agua
Del río
Colas
Al río
9,87 TPH
0,28 TPH
0,139 TPH
0,141 TPH
sulfuros
Al dique de colas
0,072 TPH
magnético
Non float
0,067 TPH
No magnético (concentrado final)

Nº	Cant.	Descripción de equipos	HP
1	1	Distribuidor de pulpa	
2	13	Mesa de concentración Nº 6, lamera	26
3	1	Tanque acondicionador 3' x 3'	2
4	1	Batería de 4 celdas Nº 18 SP	10
5	1	Separador magnético	
6	2	Bomba centrífuga 3" x 2"	15
7	1	Estanque de agua, cap. 10.000 m^3	
8	1	Tablero de control energía	
		Total	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 49
Equipamiento requerido para la planta de concentración, proyecto de retratamiento de sedimentos del río Pairumani

Nº	Cantidad	Descripción	Potencia total
1	1	Draga cap. 45 m^3/h	
2	1	*Trommel* 4' x 12'	30
3	3	Correa trans. de 24" x 15 m	60
4	1	Cedazo vibratorio 4' x 6'	12
5	4	Bomba centrífuga 3" x 2"	30
6	2	Distribuidor de carga y/o pulpa	-
7	13	Mesa concentradora N° 6, lamera	26
8	1	Tanque acondicionador 3' x 3'	2
9	1	Batería de 4 celdas N° 18 SP	10
10	1	Separador magnético	

Fuente: elaboración propia.

7.4. Plan de manejo/operación

La administración del proyecto debe hacerse mediante la gobernación del departamento, sin fines de lucro pero cuidando de que el manejo de la planta esté en manos de técnicos con amplio conocimiento en este tipo de tareas. Los pobladores de las diferentes comunidades podrán aportar con mano de obra en función de los requerimientos de la planta de tratamiento.

El personal técnico que opere la futura planta de tratamiento deberá elaborar sus cronogramas para que ésta funcione adecuadamente, además debe tomar en cuenta las metas físicas, el mantenimiento preventivo de toda la maquinaria necesaria, la provisión de materiales e insumos, la capacitación del personal, etc. Los aspectos económicos que tienen que ver con los costos de operación unitarios, costos de insumos, personal, servicios, etc. están detallados en el siguiente punto.

8. Presupuesto y estructura de financiamiento

El proyecto de recuperación de estaño en el río Pairumani es la parte esencial de la propuesta de remediación ambiental de la subcuenca de Japo-Pairumani y el lago Poopó, contaminados por

los desechos mineros que han generado las empresas de la Comibol, Morococala, Santa Fe y Japo y que nunca han adoptado ninguna medida de mitigación efectiva.

Este proyecto para recuperar una cantidad apreciable de estaño liberado en fina granulometría en el lecho del río contempla una inversión de cinco millones de dólares, aproximadamente, en un lapso de cuatro años.

8.1. Inversión

La inversión programada para compra de maquinaria y equipo para el proyecto de recuperación de estaño de la Subcuenca Japo - Pairumani se detalla en la tabla 50.

Tabla 50
Detalle de costos de equipos y maquinaria (en $us)

Nº	Cantidad	Descripción	Potencia HP	Valor unitario	Valor total
1	1	Draga cap. 125 m³/h		1,000.000	1.000.000
2	1	*Trommel* 4' x 12'	10	56.500	56.500
3	3	Correa trans. de 24" x 15 m	60	26.000	78.000
4	1	Cedazo vibratorio 4' x 6'	4	43.200	43.200
5	4	Bomba centrífuga 3" x 2"	30	19.750	79.000
6	2	Distribuidor de carga y/o pulpa	-	1.000	2.000
9	13	Mesa concentradora N° 6, lamera	26	35.800	465.400
10	1	Tanque acondicionador 3' x 3'	2	7.500	7.500
11	1	Batería de 4 celdas N° 18 SP	15	15.000	15.000
12	1	Separador magnético		15.000	15.000
			Total inversión		**1.761.600**

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, y tomando como referencia el manual *A Handbook for Estimating Minig and Mineral Processing Equipment Costs and Capital Expenditures and Aiding Mineral Proyect Evaluations*, de Andrew L. Mular, se ha elaborado las tabla 5.4, que es el capital total de inversión. Ahí se detalla el monto necesario para la compra de equipos,

que alcanza a 1,76 millones de dólares aproximadamente y un monto adicional para la instalación, que significa 1,43 veces el valor de la compra de equipos. Luego está el costo total de la planta, que incluye tuberías, instrumentación, edificios y desarrollo del lugar e instalaciones auxiliares. Por último, se incluye los imprevistos y el capital de trabajo, todo lo cual alcanza un capital total de inversión de 4.965.626,27 dólares estadounidenses.

Tabla 51
Detalle del total de la inversión

Ítem	Inversión	$us
1	Total inversión (equipos)	1.761.600,00
2	Costo de equipo instalado (1,43 veces ítem 1)	2.519.088,00
3	Tuberías del proceso (12% del ítem 2)	302.290,56
4	Instrumentación (3% del ítem 2)	75.572,64
5	Edificios y desarrollo del lugar (35% del ítem 2)	881.680,80
6	Instalaciones auxiliares (10% del ítem 2)	251.908,80
7	Costo total de la planta física	4.030.540,80
8	Imprevistos (10% del ítem 7)	403.054,08
9	Costo capital fijo (7+8)	4.433.594,88
10	Capital de trabajo (12% del ítem 9)	532.031,39
	Capital total de inversión	**4.965.626,27**

Fuente: elaboración propia.

8.2. Costos fijos

En los siguientes cuadros se detalla el costo fijo para la realización del proyecto, que incluye el detalle de servicios básicos, que alcanzan a 1.800 dólares al año; el detalle de los gastos administrativos, que significan 5.617,45 dólares al año, y el detalle de gastos de mantenimiento que alcanzan a 99.312,53 dólares al año. El monto total alcanza a 106.729,98 dólares estadounidenses al año.

Tabla 52
Costos de los servicios básicos

Servicios básicos

Descripción	Costo unitario	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor $us
Electricidad	50,00	año	12		600,00
Agua potable	50,00	mes	12		600,00
Teléfono	50,00	mes	12		600,00
			Total		**1.800,00**

Fuente: elaboración propia.

Tabla 53
Gastos adminitrativos

Gastos administrativos (1,5% del costo variable)

Descripción	Costo unitario	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor $us
Gastos administrativos			12		5.617,45
			Total		**5.617,45**

Fuente: elaboración propia.

Tabla 54
Gastos de mantenimiento

Gastos de mantenimiento de la inversión (2% de la inversión)

Descripción	Costo unitario	Unidad	Cantidad	Valor $us
Mantenimiento de equipos		año	1	99.312,53
			Total	**99.312,53**

				$us
Costo fijo				**106729,98**

Fuente: elaboración propia.

8.3. Costo variable

El costo variable propuesto para el proyecto de recuperación de estaño se detalla en el siguiente cuadro. El ítem 1, referido a

materiales e insumos, toma en cuenta los reactivos para el proceso de producción y la utilización de energía, que alcanzan un monto de 536.167 dólares al año. Asimismo, la mano de obra empleada para el proceso productivo, alcanza un monto de 494.000 dólares estadounidenses al año. El monto total por costo variable alcanza la suma de un millón de dólares al año, aproximadamente.

Tabla 55
Costos de operación

No.	Ítem	Costo total
		Bs.
1	Materiales e insumo	201.596,80
1.1	Reactivos para el proceso de producción	90.090,00
1.2	Utilización de energía	111.506,80
2	Mano de obra	172.900,00
	Mano de obra	172.900,00
	Costo variable total	**374.496,80**

Fuente: elaboración propia.

8.4. Financiación del proyecto

Dado que el monto de inversión para el proyecto es bastante elevado, se propone que sea financiado en un 90% por un crédito del sistema financiero del país o mediante un organismo internacional, a una tasa de interés de 12% anual. Dicho monto se consigna en el siguiente cuadro.

Tabla 56
Financiamiento y crédito

Inversión total	**4.965.626,27**
Créditos 90%	**3.972.501,01**
Tasa de interés	**12%**

Fuente: elaboración propia.

En el siguiente cuadro se detalla el pago de intereses sobre saldos y la amortización anual por un crédito a cuatro años de plazo.

Tabla 57
Intereses y amortizaciones

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Pago de interés	536.287,64	402.215,73	268.143,82	134.071,91
Amortización	1.117.265,91	1.117.265,91	1.117.265,91	1.117.265,91

Fuente: elaboración propia.

8.5. Depreciación de equipos

Por otra parte, en el siguiente cuadro se muestra la depreciación de activos fijos; propiamente de maquinaria, a cuatro años, que es el tiempo de duración del proyecto, sin consignar ningún monto como valor de salvamento de los activos. La depreciación anual alcanza la suma de 440.400 dólares americanos aproximadamente.

Tabla 58
Depreciaciones

Activo fijo	0	1	2	3	4	V. salvamento	Años de vida útil
Equipos y maquinaria	1.761.600,00	440.400	440.400	440.400	440.400	0,00	4
Total depreciación		440.400	440.400	440.400	440.400	0,00	

Fuente: elaboración propia.

8.6. Flujo de fondos del proyecto

En el cuadro siguiente se muestra el flujo de fondos neto del proyecto, donde se propone un precio de *6,75 dólares* por libra fina de estaño, el promedio mínimo de la fluctuación del precio de este mineral durante los últimos meses.

La cantidad estimada de producción de estaño alcanza a *553.748 libras finas* de estaño al año, lo cual significa una producción mensual de *46.146 libras finas* aproximadamente. Esta producción, para fines de la evaluación financiera y considerando el corto tiempo que operará el proyecto, se mantiene constante hasta el final del proyecto.

Por otra parte, de acuerdo a lo detallado con anterioridad, el flujo de fondos del proyecto toma en cuenta los costos variables totales, que para este caso también se mantendrán constantes a lo largo de la vida del proyecto. Asimismo, el costo fijo propuesto se mantiene constante a los largo de esa vida útil.

Con esta información se construye el flujo de fondos del proyecto, donde se señala ingresos por 3,7 millones de dólares y egresos de 481 mil dólares, aproximadamente. A los ingresos programados se les resta los egresos, que están compuestos por el costo variable y fijo, y además el pago de intereses y la depreciación de activos fijos, obteniendo una utilidad sin impuestos de 2,2 millones de dólares aproximadamente. A eso se resta el 25% por impuestos a las utilidades, y se obtiene la utilidad final, que alcanza a 1,7 millones de dólares aproximadamente.

Por último, se suma el monto por depreciación y se resta el pago por amortizaciones de un crédito por el 90% del total de la inversión propuesta y se obtiene el flujo neto anual de fondos del proyecto, que alcanza a la suma de 1.033.047,53 dólares, en el primer año del proyecto, hasta llegar a 1.334.709,33 dólares estadounidenses en el último año.

Se debe destacar además que la inversión privada del proyecto alcanza a *446.562,63 dólares estadounidenses*, suma que constituye el 10% del total de la inversión, con la obtención del crédito. Con esta información se puede deducir *a priori* que el proyecto tiene un interesante margen de ganancias, dado que el monto de inversión total, sin tomar en cuenta el crédito, puede ser cubierto al año y medio de su puesta en marcha.

En el cálculo de medidas de evaluación financiera del proyecto, el valor actual neto (VAN) alcanza la suma de *1.997.923,99 dólares estadounidenses*, a una tasa de retorno del 30%. Esta tasa de retorno representa un elevado riesgo de inversión, por tres motivos principales: 1) se debe tomar en cuenta un escenario pesimista (como medida precautoria); 2) hay un elevado monto de inversión, y 3) es un proyecto que depende de los precios en mercados internacionales que, por lo general, son erráticos y volátiles. En este orden de ideas,

el VAN del proyecto representa el valor presente de los beneficios, lo que significa 1,99 millones de dólares, después de haber recuperado el monto de inversión privado (446.562,63 dólares) tomando en cuenta un costo de oportunidad de la inversión del 30%. En otras palabras, el proyecto no sólo alcanza a compensar un 30% de beneficios de otra posible alternativa de inversión, sino que genera, adicionalmente, un beneficio de 1,99 millones de dólares, aproximadamente, en valor presente.

La tasa interna de retorno (TIR) alcanza a *214,43%*, lo que representa la rentabilidad interna del proyecto; o sea que, dada la inversión, el dinero utilizado en el proyecto alcanza una rentabilidad de 214% aproximadamente, por lo que para este caso en particular resulta altamente atractivo. Ya que la TIR es superior a la tasa de oportunidad del dinero (30%), eso equivale a seleccionar la "mejor" alternativa financiera; por lo tanto, se asume una actitud favorable para la realización del proyecto.

Tabla 59
Variables para el análisis financiero

Años del proyecto	2010	2011	2012	2013
Variables a sensibilizar				
Precio de venta ($us/prenda)	6,75	6,75	6,75	6,75
Cantidad (libras finas)	553.748,00	553.748,00	553.748,00	553.748,00
Costos variables de operación ($us)	374.496,80	374.496,80	374.496,80	374.496,80
Costos fijos de operación	106.729,98	106.729,98	106.729,98	106.729,98

Fuente: elaboración propia.

8.7. Evaluación económica, social, ambiental y técnica

El proyecto es viable aun cuando solamente se considere la posibilidad de llegar a metro y medio de profundidad en el río (pues se sabe que a mayor profundidad también existe estaño, casi libre de sulfuros, que son impurezas que perjudican al medio ambiente). Si se incrementa el volumen de tratamiento, naturalmente agrandando las instalaciones y los equipos, el proyecto seguirá siendo rentable bajo cierta cotización del estaño.

Tabla 60
Flujo de fondos del proyecto

Flujo de fondos del proyecto					
Descripción	Años				
	2009	2010	2011	2012	2013
Ingreso afectos a impuestos		3.737.799,00	3.737.799,00	3.737.799,00	3.737.799,00
Egresos afectos a impuestos		481.226,78	481.226,78	481.226,78	481.226,78
Intereses (12%)		536.287,64	402.215,73	268.143,82	134.071,91
Depreciación		440.400,00	440.400,00	440.400,00	440.400,00
Utilidad antes de impuestos		2.279.884,59	2.413.956,50	2.548.028,40	2.682.100,31
Impuesto a las utilidades 25%		569.971,15	603.489,12	637.007,10	670.525,08
Utilidad después de impuestos		**1.709.913,44**	**1.810.467,37**	**1.911.021,30**	**2.011.575,24**
Depreciación		440.400,00	440.400,00	440.400,00	440.400,00
Costos de inversión	-4.965.626,27				
Créditos	4.469.063,64				
Amortización		1.117.265,91	1.117.265,91	1.117.265,91	1.117.265,91
Flujo de fondos neto	**-496.562,63**	**1.033.047,53**	**1.133.601,46**	**1.234.155,39**	**1.334.709,33**
Tasa de retorno	30,00%				
VAN proyecto	1.997.923,99				
TIR	214,43%				

Fuente: elaboración propia.

Con relación al problema ambiental se puede manifestar, en primer lugar, que será subsanada en gran manera la contaminación actual y también se hará realidad la remediación de toda la zona. Por otro lado, el proceso de tratamiento de los sedimentos se realizará sin mayores problemas para el medio ambiente; es decir, será "amigable" con el medio ambiente: sólo se empleará agua en parte del proceso y los residuos que genere la parte gravimétrica serán devueltos al lecho del río, pero libres ya de sulfuros. Estos sulfuros serán separados empleando cantidades mínimas de reactivos y serán dispuestos de acuerdo a normas vigentes en el país; por tanto, no ofrecerán ningún riesgo ambiental.

El aspecto social mejorará considerablemente, ya que al existir contaminación de suelos y aguas, una vez que se realicen los trabajos de remediación ambiental, los pobladores podrán nuevamente dedicarse a tareas de agricultura y crianza de animales para mejorar la economía familiar y de la región, lo que a su vez mejorará el estándar de vida de la zona haciendo que los pobladores se encuentren en mejores condiciones sociales a las que se encuentran en la actualidad.

8.8. Población beneficiaria

El beneficio directo del proyecto está dirigido a aproximadamente cincuenta familias que desarrollan sus actividades en las localidades de Aco Aco y Pairumani; por otro lado, también se beneficiarán de manera indirecta los pobladores de otras comunidades aledañas, aguas abajo del río Pairumani, puesto que éste ya no arrastraría material contaminante. Este beneficio también alcanzaría a algunas comunidades de la subcuenca de Sora Sora. La población que se beneficiará a largo plazo y también indirectamente con la implementación del proyecto será aún más numerosa ya que gran parte de los pobladores de la ciudad de Oruro, de Huanuni y de otros centros cercanos recibirán productos agropecuarios provenientes de los proyectos hechos realidad en esta región.

9. Análisis de sensibilidad

Por último, dada la gran incertidumbre de precios en el mercado internacional de metales y específicamente del estaño, el cuadro

siguiente muestra un análisis de sensibilidad en cuanto a la cantidad producida y al precio referencial propuesto para el retratamiento de los sedimentos del lecho del río.

En la tabla 61, en la columna y fila sombreadas se presentan las variaciones de la cantidad producida y el precio, con disminuciones o decrementos de un 5%. O sea que el precio de libra fina de estaño fluctúa desde los 6,75 dólares propuestos en el proyecto hasta 4,39 dólares. Asimismo, la cantidad producida fluctúa desde las 553.748 libras finas de estaño propuestas, hasta 359.936 libras finas. En el interior de la región sombreada se presenta el cálculo del VAN para cada una de las combinaciones de cantidad y precio propuestas. Es así que, para un precio de 4,73 dólares y la cantidad propuesta por el proyecto de 553.748 libras finas de estaño, el proyecto todavía tiene un retorno en valor actual de neto de 1,76 millones de dólares, aproximadamente. Por otro lado, para un precio de 6,48 dólares y una cantidad de 387.623,60 libras finas de estaño, 30% menor a la cantidad propuesta, el VAN alcanza la suma de 2.920,00 dólares estadounidenses. Por lo tanto, el proyecto demuestra ser atractivo dado que soporta variaciones de precio y cantidad superiores al 30% de disminución en ambos.

Adicionalmente a lo ya mencionado, en el último recuadro se muestra la cantidad y el precio que hacen que el valor actual neto se haga cero, o sea que el proyecto ya no sea atractivo y no se pueda recuperar la inversión a la tasa dada del costo de oportunidad del dinero. Estos valores son los siguientes: *4,53 dólares por libra fina* de estaño y *374.496,8 libras finas de estaño*, con lo cual podemos concluir que la inversión es atractiva debido a los indicadores financieros positivos, a la pronunciada sensibilidad del precio y la cantidad en más de 30%, que hacen que el proyecto todavía sea factible.

Tabla 61
Análisis de sensibilidad

CÁLCULO DE SENSIBILIDAD - PRECIO Y CANTIDADES (VARIACIONES DEL 10%)

Variaciones VAN		Precio de venta $us (libra fina)								
			0,00%	-5,00%	-10,00%	-15,00%	-20,00%	-25,00%	-30,00%	-35,00%
		1.997.923,99	**6,75**	**6,41**	**6,08**	**5,74**	**5,40**	**5,06**	**4,73**	**4,39**
Cantidad estaño (L.F.)	0,00	553.748,00	1.997.923,99	1.694.287,53	1.390.651,07	1.087.014,61	783.378,16	479.741,70	176.105,24	-127.531,22
	-5,00%	526.060,60	1.694.287,53	1.405.832,90	1.117.378,26	828.923,62	540.468,99	252.014,35	-36.440,28	-324.894,92
	-10,00%	498.373,20	1.390.651,07	1.117.378,26	844.105,45	570.832,63	297.559,82	24.287,01	-248.985,80	-522.258,62
	-15,00%	470.685,80	1.087.014,61	828.923,62	570.832,63	312.741,64	54.650,65	-203.440,34	-461.531,33	-719.622,32
	-20,00%	442.998,40	783.378,16	540.468,99	297.559,82	54.650,65	-188.258,51	-431.167,68	-674.076,85	-916.986,01
	-25,00%	415.311,00	479.741,70	252.014,35	24.287,01	-203.440,34	-431.167,68	-658.895,02	-886.622,37	-1.114.349,71
	-30,00%	387.623,60	176.105,24	-36.440,28	-248.985,80	-461.531,33	-674.076,85	-886.622,37	-1.099.167,89	-1.311.713,41
	-35,00%	359.936,20	**-127.531,22**	-324.894,92	-522.258,618	-719.622,32	-916.986,01	-1.114.349,71	-1.311.713,41	-1.509.077,11

VAN (0) Cantidades	374.496,80
VAN (0) Precio	4,53

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

Propuesta de conservación, recuperación y protección de la fauna y flora

1. Introducción

El crecimiento y desarrollo de la sociedad —en la mayoría de los casos crecimiento económico— usa los recursos naturales, lo que implica mayor intervención humana en los procesos naturales del planeta tierra. Desde el punto de vista técnico y socioeconómico, las transformaciones conscientes e intencionadas de la calidad del ambiente buscan mejorar la calidad de vida del ser humano. Pero al perseguir esta meta, el desarrollo tecnológico, hasta hace pocas décadas, no tomó en cuenta los peligrosos efectos secundarios sobre los ecosistemas, sobre los organismos vivos y sobre el medioambiente. Se creía en la capacidad ilimitada de la naturaleza de compensar las influencias humanas (resiliencia alta), no obstante que desde hace siglos se conoce cambios irreversibles en el ambiente que afectan, por ejemplo, la reducción continua de las praderas nativas de pastoreo y la diversidad de especies vivas.

Cada vez mayores sectores de la sociedad humana perciben la necesidad de aminorar o evitar la degradación del ambiente y la pérdida de especies de flora y fauna silvestre. Se debe profundizar en el estudio de las causas de tales procesos, no sólo para evitar la constante degradación del ambiente, sino para recuperar, mejorar o adaptar las zonas que ya sufren los efectos del manejo inadecuado que hace la humanidad y evitar que otras zonas sigan el mismo camino.

Por otro lado, de una percepción del medio a escala local se está pasando a considerar la biosfera como sistema global, en cuyo ciclo de vida queda implicada toda la humanidad. Sin embargo, todavía

se está lejos de poder afirmar que la "revolución ecológica" —que en opinión de algunos se ha producido al final del siglo XX— sea algo plenamente asumido y sus consecuencias sean previsibles.

La fauna y la flora silvestre constituyen uno de los factores más importantes del equilibrio global de la biosfera, hacen posible los procesos ecológicos, son parte de ellos y conforman la vida del planeta en su forma actual. Todos estos criterios más el diagnóstico realizado en la primera parte de este libro son la base para desarrollar nuestra propuesta de conservación, recuperación y protección de fauna y flora en la subcuenca del Japo-Pairumani.

1.1. El FODA

La matriz FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) es un instrumento viable para analizar cualquier ámbito de trabajo relacionado con los factores que determinan el éxito en el cumplimiento de los objetivos propuestos (tabla 62).

1.2. Análisis de los factores externos (oportunidades y amenazas)

Las oportunidades son la posibilidad de obtener nuevos recursos económicos originados por el tratamiento de sedimentos del río Pairumani (en especial el estaño) y el fortalecimiento de programas de capacitación, de manejo de los recursos naturales, monitoreo, investigación y otros ámbitos por parte de organismos nacionales e internacionales.

Asimismo, estas oportunidades, como factores externos, posibilitarán atender la demanda social que existe para el uso de los recursos naturales orientados a la sostenibilidad de la zona con lineamientos de planificación y organización, en especial de las praderas nativas. Las amenazas se pueden paliar planificando el uso de los suelos para las actividades pecuarias, actividades complementarias y de seguridad alimentaria.

Con todo esto se fortalece la propuesta técnica, económica y ambiental de tratamiento de sedimentos de ríos contaminados como alternativa de remediación ambiental y desarrollo económico local.

Tabla 62
Matriz FODA de los factores ambientales de flora y fauna de la subcuenca Japo-Pairumani

			Oportunidades					Amenazas				
		Escala de impactos	O1	O2	O3	O4	O5	A1	A2	A3	A4	A5
		0. Ninguno **1.** Muy débil **2.** Débil **3.** Mediano **4.** Fuerte **5.** Muy fuerte	Nuevos ingresos económicos (por el tratamiento de sedimentos minerales en el río Pairumani)	Acceso a recursos económicos de organismos nacionales e internacionales	Transferencia de tecnología	Monitoreos e investigaciones por instituciones con credibilidad técnica-científica	Afrontar nuevas alternativas de desarrollo (flora y fauna silvestre) en la zona por los pobladores	Pérdida de flora s y fauna silvestre	Degradación y desertización de suelos	Factores climatológicos adversos	Procesos ecológicos en desequilibrio	Pérdida de la diversidad genética
Fortalezas	**F1**	Presencia de especies forrajeras silvestres										
	F2	Especies vegetales que pueden evitar la erosión de suelos	**Potenciales**					**Riesgos**				
	F3	Suelos aptos para la reinserción de especies vegetales nativas	**28%**					**21%**				
	F4	Zonas con poca perturbación (refugios naturales)										
	F5	Presencia de especies arbustivas										
Debilidades	**D1**	Explotación de especies vegetales silvestres mal utilizadas, explotación no eficiente										
	D2	Falta de planificación de uso de suelos	**Desafíos**					**Limitaciones**				
	D3	Ausencia de organizaciones en recursos naturales renovables silvestres	**26%**					**25%**				
	D4	Ausencia de capacitación técnica adecuada										
	D5	Ausencia de infraestructura para multiplicación, producción y propagación de especies vegetales nativas										

Fuente: elaboración propia.

1.3. Análisis de los factores internos (fortalezas y debilidades)

Los recursos naturales, en especial las especies vegetales, son de importancia estratégica por los usos que se les da: energético (leña) y forrajero (para la actividad pecuaria). Este último uso permite generar recursos económicos para las familias de las comunidades de Aco Aco y Pairumani, porque les permite criar ganado. Pero además se debe aprovechar de forma natural el uso de especies de flora como franjas vivas para evitar la erosión de suelos.

La fortaleza de todo ello es que se trata de suelos aptos para la reinserción de especies vegetales silvestres o introducidas. Las especies silvestres son el componente principal de las praderas de la zona de estudio y son fuente de alimento (forraje) para el ganado. Existe la opción de introducir nuevas especies vegetales de uso forrajero principalmente, pero teniendo en cuenta el manejo de suelos y, lo más importante, evitando que sean especies con características morfológicas de raíz pivotante, ya que esto tendrá efectos en la estructura del suelo.

Finalmente, las zonas poco perturbadas son una fortaleza importante, pues son refugios naturales de fauna silvestre y se constituyen en corredores ecoturísticos que sería interesante explotar, primero porque esa actividad evitaría realizar otras actividades económicas que pudiesen perturbar las zonas y segundo porque las comunidades del lugar (Aco Aco y Pairumani), viendo que se trata de una actividad que genera recursos económicos, diversificarían sus actividades. Obviamente, ésta es una de las estrategias adecuadas para los cambios locales, regionales y globales que se vive en la actualidad.

Las debilidades tienen que ver con la insuficiencia de recursos financieros, con la falta de conciencia en comuneros y autoridades respecto del manejo de los recursos naturales renovables propios del lugar y con su falta de organización para manejar los recursos naturales silvestres, con su nula capacitación y la escasa infraestructura. En consecuencia, la relevancia de esta propuesta es que plantea una solución a la pérdida de la diversidad biológica y a los desequilibrios ecológicos que registra la zona.

Por tanto, uno de los objetivos de nuestro proyecto es coadyuvar a mejorar los procesos de conservación, protección y recuperación de la flora y fauna silvestre en la microcuenca del río Japo-Pairumani para trastrocar el actual problema.

1.4. Potencialidades y limitaciones

1.4.1. Flora silvestre

Entre las especies existentes en la zona en estudio, destacamos la presencia de *Baccharis incarum* (leñosa) y *Parastrephia lepidhophylla* (leñosa), que son las especies con mayor presencia en toda la microcuenca; también hay presencia de *Cynodon dachilon* (forrajera) y Fabiana densa (leñosa), esta última en la zona baja de la microcuenca. También hay cactáceas como *Lobivia caesoitosa*, *Opuntia ficus indica* y *Opuntia sochensis*, de considerable cantidad en el sector (en la zona alta de la microcuenca), que previenen la erosión de los suelos pero que también son consumidas por el ganado. La mayor parte de estas especies podría ser multiplicada en un ambiente adecuado.

La disminución de la cobertura vegetal, su mal aprovechamiento y el manejo inadecuado que produce a la larga la erosión de los suelos, su posterior degradación y desertización a mediano plazo es una limitante.

1.4.2. Fauna silvestre

Una de las potencialidades es que se trata de una zona poco perturbada, con suelos aptos para la reinserción de especies vegetales del lugar. Si esto se acompaña de transferencia de tecnología y de recursos económicos, se puede llegar a recuperar las comunidades vegetales para generar refugios naturales de fauna silvestre, restaurando ecosistemas alterados con los niveles tróficos propios de un ecosistema terrestre con características propias del altiplano.

Una limitación es la ausencia de organizaciones que manejen recursos renovables silvestres en las comunidades, lo cual, sumado a los procesos ecológicos en desequilibrio, aumenta la amenaza de pérdida de la diversidad genética.

1.4.3. Sector forestal

Entre las potencialidades forestales está la presencia de especies nativas, por ejemplo *Baccharis incarum, Fabiana densa, Parastrephia lepidhophylla* y *Baccharis boliviana*, mismas que las comunidades usan como leña o como forraje para el ganado. También hay especies cactáceas como *Lobivia caesoitosa, Opuntia ficus indica* y la *Opuntia soehrensii*, que no son óptimamente aprovechadas.

Como limitaciones señalamos la falta de capacitación de las comunidades en manejo de especies forestales nativas y forestales introducidas (esto último con poca incidencia en la zona), su aprovechamiento y el desconocimiento del cuidado adecuado de la flora silvestre.

1.4.4. Cooperación interinstitucional

En cuanto a las potencialidades de la cooperación interinstitucional, el Plan General de Desarrollo Económico y Social (PGDES) del país señala como aspectos favorables para los municipios: la coordinación con las prefecturas (hoy gobiernos autónomos de los departamentos) y el Programa de Acciones Estratégicas que incluyen a los municipios (PDM-Machacamarca 2007).

Las organizaciones no gubernamentales con presencia en la zona tienen objetivos propios que en su mayoría coinciden con objetivos comunes para la zona; pero sus actividades duplican esfuerzos en proyectos similares. Todo esto se convierte en una limitante, porque si bien estas instituciones realizan trabajos de forestación, capacitación, manejo de especies silvestres y otros, la falta de coordinación y aproximación entre ellas hace que los resultados disminuyan.

1.5. Problema estratégico

La explotación inadecuada de especies nativas vegetales y su mala utilización (sobre todo en la actividad de pastoreo) hacen que la cobertura vegetal vaya disminuyendo y extinguiéndose en algunos sectores. Esto podría replicarse en gran parte de la zona por la falta de inversión en protección de especies de flora y fauna de parte de las autoridades municipales y otras. Igualmente, al no contarse

con una organización comunal adecuada y, de modo general, con un programa de capacitación para el manejo de especies vegetales nativas, se corre el riesgo de perder grandes coberturas vegetales y con ello aumentar los desequilibrios ecológicos, destruyendo hábitats específicos de fauna silvestre. La existencia de ganado y el pastoreo inadecuado hacen más visible este riesgo.

La microcuenca presenta cobertura vegetal introducida y nativa; esta última ha sido llevada a un segundo plano por la gran actividad agropecuaria, por lo tanto está mal aprovechada por los comuneros. El mal manejo hace que la población vegetal nativa vaya en reducción y se produzcan desequilibrios espaciales entre naturaleza y seres humanos; no existe reciprocidad con la naturaleza, bien que esto sólo sea ayudando a multiplicar y propagar las especies nativas vegetales o fauna silvestre.

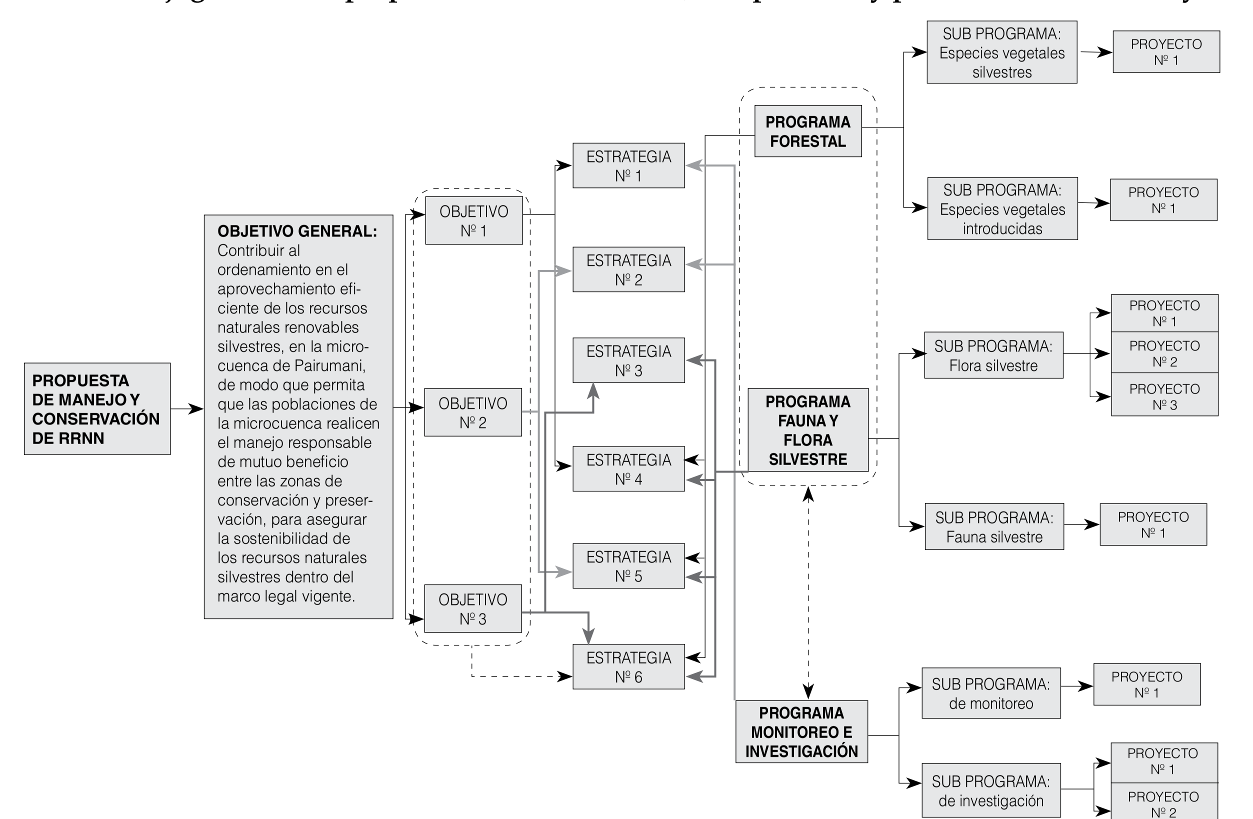
Si se mantiene el actual uso de los recursos naturales silvestres y paralelamente hay insuficiente capacitación, organización, etc., falta de compromiso de las comunidades, autoridades, y otros, las potencialidades que posee la microcuenca de Pairumani no serán aprovechables.

La propuesta, pues, consiste en que una vez elaborada la visión (producto del diagnóstico, el FODA y su análisis), se debe plantear el objetivo general, los objetivos específicos y la creación de programas, previo diseño de estrategias. Así se llegará a recomendar proyectos prioritarios mediante los subprogramas creados (véase gráfica 6.1). La propuesta se enfoca con mayor prioridad en la elaboración de proyectos de conservación de recursos naturales.

1.6. Visión

La visión es que en la microcuenca de Pairumani se cuente con especies vegetales nativas que produzcan una cobertura vegetal característica del altiplano; además, que estas especies vegetales ayuden a que los suelos sean aprovechados óptimamente evitando su erosión, lo que permitirá procesos ecológicos no perturbados, con conservación de especies nativas mediante su manejo adecuado y la ampliación de las zonas de pastoreo. Habrá refugios naturales donde confluirá la fauna silvestre en épocas de migración estacional.

Gráfica 13: Flujograma de la propuesta de conservación, recuperación y protección de la fauna y flora



Fuente: elaboración propia.

1.7. Objetivo general

Contribuir al aprovechamiento eficiente de los recursos naturales renovables silvestres en la microcuenca de Pairumani, de modo que las poblaciones de la microcuenca realicen un manejo responsable de mutuo beneficio entre las zonas de conservación y preservación para asegurar la sostenibilidad de los recursos naturales silvestres dentro del marco legal vigente.

1.8. Objetivos específicos

Objetivo 1: Desarrollar las técnicas más apropiadas de extracción de recursos vegetales silvestres de forma sostenible para reducir los desequilibrios ecológicos.

Objetivo 2: Lograr la producción permanente de recursos naturales silvestres (especies vegetales) mediante el uso de técnicas de propagación vegetal.

Objetivo 3: Capacitar a los miembros de los grupos de manejo u organizaciones locales en técnicas de manejo de los recursos naturales silvestres.

1.9. Estrategias de conservación

Estrategia 1: Promover la investigación de tecnologías de flora y fauna silvestre apropiadas al medio.

Estrategia 2: El manejo de los recursos naturales silvestres debe ser tomado en cuenta en todos los procesos de implementación de proyectos de desarrollo productivo, mediante el apoyo de instituciones gubernamentales y no gubernamentales.

Estrategia 3: Establecer un marco institucional para la planificación y monitoreo de los recursos naturales silvestres.

Estrategia 4: Promover y consolidar las experiencias locales adquiridas en el manejo de los recursos naturales silvestres.

Estrategia 5: Incrementar la producción y propagación de flora silvestre mediante la capacitación en siembra de especies y cosecha de semillas silvestres.

Estrategia 6: Desarrollar proyectos de conservación, recuperación y protección de flora y fauna silvestre en forma participativa y permanente.

1.10. Programas y proyectos

Tabla 63
Perfil de proyecto

			Años				
Programa	**Subprograma**	**Proyecto**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Forestal	Especies silvestres	**1.** Implementación de técnicas de multiplicación de especies vegetales silvestres e introducidas					
	Especies introducidas	**1.** Capacitación de técnicos forestales para especies introducidas					
Flora y fauna silvestre	Flora silvestre	**1.** Manejo y conservación de praderas nativas					
		2. Manejo y conservación de especies vegetales nativas					
		3. Manejo y conservación de forrajes nativos					
	Fauna silvestre	**1.** Asesoramiento técnico para el manejo de fauna silvestre					
Monitoreo e investigación	Monitoreo	**1.** Elaboración de un monitoreo ecológico y biológico de la flora					
	Investigación	**1.** Elaboración de una base de datos de flora y fauna de la microcuenca de Pairumani					
		2. Elaborar estudios técnico-científicos para la conservación de RRNN de la microcuenca de Pairumani					
		1. Ruta turística ecocultural comunitaria Aco Aco					

Fuente: elaboración propia.

1.11. Establecimiento de programas

Se implementará estrategias de conservación en flora y fauna teniendo en cuenta el manejo de los suelos, lo que contribuirá a

restaurar el desequilibrio ecológico en la zona promoviendo la llegada de fauna silvestre en un futuro refugio natural (zona alta de la comunidad de Pairumani). Por otra parte, es importante implementar proyectos que se complementen con la conservación, en este caso un proyecto ecoturístico motivaría a las comunidades a participar de los programas a implementarse porque generarían nuevos recursos económicos.

En el programa forestal: se trata de realizar estrategias de conservación, multiplicación, producción y propagación de especies vegetales silvestres en peligro en la microcuenca de Pairumani y de especies introducidas que ayudarán a que la erosión de suelos reduzca y se mejore las áreas de pastoreo utilizando flora silvestre.

En el programa de flora y fauna silvestre: se trata de elaborar proyectos de conservación que lleguen a implementar, multiplicar, producir y propagar especies principalmente silvestres y en segundo lugar introducidas; de igual forma, de realizar proyectos de manejo en conservación de fauna silvestre para poder restaurar el equilibrio ecológico en lugares perturbados de la microcuenca de Pairumani.

En el programa de monitoreo e investigación: se trata de elaborar estudios de monitoreo en flora y fauna silvestre, además de realizar investigaciones para la preservación y conservación de ambos recursos y poder entender los proceso ecológicos de la microcuenca de Pairumani.

2. Análisis y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales

2.1. Introducción

Esta propuesta de aprovechamiento sostenible de recursos naturales se complementa con el análisis de conservación, recuperación y protección de la fauna y flora —sobre todo en la parte socioeconómica— de la microcuenca de Pairumani, zona con potencial en recursos naturales. La actividad agrícola y pecuaria de la zona confronta diversas limitaciones de tipo ecológico, de sistemas de producción y de carácter socioeconómico. Sin embargo, existen algunas alternativas

agrícolas y pecuarias (estas últimas de mayor importancia, seguidas de las actividades agrícolas que dan seguridad alimentaria a la zona) que económicamente pueden despertar expectación en los pequeños productores de la zona, donde la parte ambiental es factor importante para el desarrollo de la región. Dentro de esas alternativas está la producción de forrajes, en especial de especies vegetales nativas (para llamas, ovejas y vacas), cosecha de aguas de lluvia (muy importante para la actividad agrícola y en especial para la seguridad alimentaria). Un recurso importante es el edáfico, que presenta alto riesgo de erosión y degradación muy altas; éste es un aspecto prioritario para la presente propuesta.

Como se mencionó anteriormente, es muy importante considerar dentro de la actividad forrajera a las especies nativas del altiplano, la mayor cantidad de biomasa en estado seco para la alimentación del ganado.

En este sentido, Aco Aco y Pairumani (parte de la microcuenca Pairumani) se caracterizan por tener actividad pecuaria, en especial en cría de llamas, ovejas y vacas, en ese orden de importancia; por consiguiente, la producción de forrajes pratenses es muy importante, principalmente los que conforman las praderas nativas (especies vegetales nativas), junto a especies introducidas como la *Hordeum vulgare* (cebada), entre otras. La producción forrajera está estrechamente ligada con los requerimientos de alimentación del ganado. Los altos índices de pobreza (cerca del 80% de la población, según el PDM de Machacamarca 2007), la baja productividad de los cultivos agrícolas por las condiciones climáticas adversas (granizo, heladas, sequías) que son frecuentes en la zona, la crianza de ganado (llamas, ovejas y vacas) con promedios bajos de producción de carne, fibra y leche, más las escasas asistencia técnica y capacitación en la producción de ganado han motivado a que los productores de las comunidades de Aco Aco y Pairumani busquen financiamiento en instituciones como la prefectura de Oruro para mejorar el ganado, incrementar sus ingresos económicos, evitar la deserción escolar y la migración hacia las ciudades y mejorar la dieta de los niños y habitantes en general.

2.2. Matriz FODA

Esta matriz se realizó sobre la base de un diagnóstico efectuado después de realizar el trabajo de campo pertinente, la revisión de información secundaria y entrevistas a autoridades y personas clave de la zona (tabla 64).

2.3. Análisis de los factores externos (oportunidades y amenazas)

La zona de Aco Aco y Pairumani tiene acceso a apoyo financiero de instituciones estatales y organismos no gubernamentales para disminuir la contaminación de sus recursos edáficos e hídricos. A estos últimos se ha dado mayor importancia en este proyecto que propone el tratamiento de los sedimentos mineralógicos (estaño, en mayor porcentaje) del río Pairumani. Ésas son las oportunidades, a las que se suman factores externos como la adopción de tecnología, investigaciones de instituciones con credibilidad técnica y científica (muy importante es el aporte que realiza la Universidad Técnica de Oruro con sus diferentes unidades académicas), nuevas alternativas de desarrollo y los nuevos ingresos económicos para los productores (por el tratamiento de sedimentos de minerales en el río Pairumani).

Las amenazas se centralizan en factores climáticos adversos (heladas y sequías), propios de la región, y factores bióticos (presencia de plagas y enfermedades) que repercuten en rendimientos bajos; también en la pérdida de forrajes nativos debido al sobrepastoreo y la degradación de los suelos.

Una amenaza muy importante es el escaso acceso al agua para las actividades agrícolas y pecuarias. Las aguas del río Pairumani están contaminadas por las actividades mineras en la parte alta de la microcuenca; de este modo, los pobladores cuentan sólo con las aguas de lluvia y de algunas vertientes temporales. Otro aspecto amenazante es la pérdida edáfica, con la depauperación de los suelos a causa de procesos de erosión (eólica e hídrica) que llevan a una degradación constante, influyen en la producción de biomasa (forraje) y repercuten en la economía de la zona.

Tabla 64
Matriz FODA para los recursos naturales de la subcuenca

Escala de impactos
0. Ninguno
1. Muy débil
2. Débil
3. Mediano
4. Fuerte
5. Muy fuerte

			Oportunidades					Amenazas				
			O1	**O2**	**O3**	**O4**	**O5**	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**
			Nuevos ingresos económicos (por el tratamiento de sedimentos minerales en el río de Pairumani)	Apoyo de instituciones estatales y ONGs	Nuevas alternativas de desarrollo	Adopción de tecnología	Investigaciones por instituciones con credibilidad técnica-científica	Pérdida de especies forrajeras nativas	Contaminación de recursos edáficos e hídricos producto de la minería	Degradación de suelos	Factores climáticos adversos (sequía, heladas)	Factores bióticos adversos (plagas, enfermedades)
Fortalezas	**F1**	Suelos aptos para la producción de forrajes (especies nativas) y cultivos (seguridad alimentaría)										
	F2	Diversidad de forrajes nativos			**Potenciales**					**Riesgos**		
	F3	Se cuenta con ganado llamuno y ovino			**28%**					**21%**		
	F4	Organización social comunitaria y sindical										
	F5	Ubicación geográfica estratégica										
Debilidades	**D1**	Limitada tecnología de producción forrajera y pecuaria										
	D2	Escasa capacitación para los productores			**Desafíos**					**Limitaciones**		
	D3	Sobrepastoreo en CANAPAS			**29%**					**22%**		
	D4	Infraestructura productiva (captadores de agua de lluvias, establos, heniles, riego) limitada										
	D5	Limitada tecnología de transformación de subproductos										

Fuente: elaboración propia.

2.4. Análisis de los factores internos (fortalezas y debilidades)

Como fortaleza está la presencia de suelos aptos (si se realiza un manejo que evite la erosión) para la producción de forrajes (en especial especies vegetales nativas) y producción de cultivos (desde el punto de vista de seguridad alimentaria); sin embargo, la principal debilidad es la limitada tecnología de producción para forraje y ganado. Esto se debe a la poca o casi nula interacción social entre el productor y el técnico. Hay también otros factores, como el mal manejo de sistemas de riego (que causan salinización de los suelos), la poca capacitación técnica para los productores, presentes en la zona.

Si bien una fortaleza importante es la diversidad de forrajes para el ganado en los campos nativos de pastoreo (CANAPAS), en especial para llamas y ovejas, otra debilidad notable es la limitada infraestructura productiva (establos, heniles, captadores de aguas de lluvias, esto último muy importante para la zona), a lo que se puede adicionar los bajos rendimientos en la producción de forraje.

Las comunidades de Aco Aco y Pairumani poseen su organización social comunitaria y sindical, pero carecen de líderes en gestión municipal y una adecuada interacción social. Se encuentran estratégicamente situadas cerca de la carretera que une Huanuni con Oruro, pero sus terrenos de producción están parcelados y hay sobrepastoreo en los campos nativos, las praderas comunales; todo esto repercute en la baja producción de forraje y por tanto en la baja productividad del ganado. Otra debilidad es que los comuneros poseen limitada tecnología de transformación de subproductos. Por tanto, la presente propuesta tiende a solucionar esas limitaciones y a dar respuestas a los desafíos tomando en cuenta las fortalezas de la zona y aprovechando las oportunidades.

2.5. Potencialidades y limitaciones

2.5.1. Potencialidades y limitaciones del aspecto ganadero

Una de las principales potencialidades de la zona es la diversidad de especies vegetales nativas, en especial las de tipo forrajero, que constituyen un componente importante en la alimentación del

ganado (llamuno y ovino) de la región. Las limitaciones actuales en la zona son: nula capacitación (en alimentación, sanidad, reproducción, genética y manejo adecuado del ganado, tecnología y subproductos), escasa infraestructura productiva (establos, heniles, depósitos, captadores de agua, estos últimos de relevancia para la provisión de agua en época de estiaje).

2.5.2. Potencialidades y limitaciones del aspecto forrajero

Como principal potencialidad está la producción de forrajes (en especial de especies vegetales nativas) para proporcionar alimento al ganado. El forraje es consumido directamente o almacenado y conservado para su posterior consumo, pero una limitante actual para la zona es el manejo de este recurso.

2.5.3. Potencialidades y limitaciones de los aspectos físico-naturales

El principal potencial en la zona de estudio son sus suelos apropiados para la producción de forrajes y productos agrícolas (*Vicia fava*, *Solanum tuberosum* y *Chenopodium quinoa Willd*). Sin embargo, las limitantes para la producción agrícola es el riesgo patente de degradación de suelos, lo cual influye en la actividad productiva de la zona, especialmente en la pecuaria y la agricultura.

2.5.4. Potencialidades y limitaciones agrícolas

En la zona de estudio, el principal potencial agrícola es la producción de cultivos de *Vicia faba*, *Solanum tuberosum* y *Chenopodium quinoa Willd* para el autoconsumo de las familias; la limitante es la pérdida del recurso edáfico (pérdida de la fertilidad) e hídrico, la presencia de factores bióticos (plagas, enfermedades) y de factores abióticos (heladas, granizos y sequías) que disminuyen los rendimientos.

2.5.5. Potencialidades y limitaciones de los aspectos sociales

Las potencialidades sociales con que cuenta la zona: los comuneros se encuentran organizados en una central agraria para ejecutar acciones en beneficio de la comunidad. Sin embargo son limitantes las malas gestiones de las autoridades municipales de turno. Además,

las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales proponen proyectos productivos priorizando sus objetivos institucionales sin tomar en cuenta la realidad de la zona.

2.6. Análisis de la problemática

Desde el punto de vista técnico, el principal problema para la producción de ganado llamuno y ovino a largo plazo es la dotación oportuna y suficiente de alimentos forrajeros, además mantener en buen estado las praderas nativas, sin excesiva carga animal. Los problemas más importantes en este aspecto son: baja calidad y cantidad de forraje producido, bajos rendimientos de biomasa en praderas introducidas, factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (heladas, granizos y sequías), estos últimos con mayor frecuencia en la zona; inapropiada infraestructura para la conservación de forrajes y escaso apoyo técnico. Con respecto al ganado, el principal problema en la zona es el manejo inapropiado (falta de capacitación técnica) en alimentación, sanidad, reproducción y pastoreo, lo cual repercute en la baja producción; de la misma forma, la falta de capacitación técnica para la producción agrícola. Los factores negativos más importantes son: falta de riego superficial para los cultivos, factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (heladas, granizos y sequías). La pérdida del recurso edáfico (pérdida de suelo) tiene como riesgo la alta degradación de suelos (más del 60% de todos los suelos de la microcuenca).

Si los otros recursos dependen del sistema edáfico, es un aspecto que se debe tomar en cuenta para proyectos productivos.

Si bien se tiene todo un acápite para este análisis, es importante mencionar los factores sociales que influyen en el mal manejo de los recursos naturales: malas gestiones de las autoridades municipales de turno, conformismo de los comuneros, falta de formación de promotores en la comunidad y de líderes en gestión municipal. Son aspectos muy importantes que se debe tomar en cuenta, ya que de ellos depende encarar el desarrollo propio. Algo muy importante es la generación de recursos económicos mediante el ecoturismo; pero hasta ahora no existe una institución en la zona que haya percibido esa petición de parte de las comunidades de Aco Aco y Pairumani

tomando en cuenta la potencialidad de sus recursos naturales y la fisiografía que presenta la zona, adecuada para proyectos ecoturísticos.

Elaborada la visión del plan (producto del diagnóstico y análisis, elaboración de FODA y su análisis), toca plantearnos el objetivo general, los objetivos específicos y la creación de programas, previo planteamiento de nuestras estrategias, para recomendar proyectos prioritario mediante los subprogramas creados (ver flujograma). La propuesta se enfoca en la elaboración de proyectos de desarrollo productivo y generación de recursos económicos adicionales a las actividades tradicionales (por ejemplo ecoturismo).

2.7. Visión

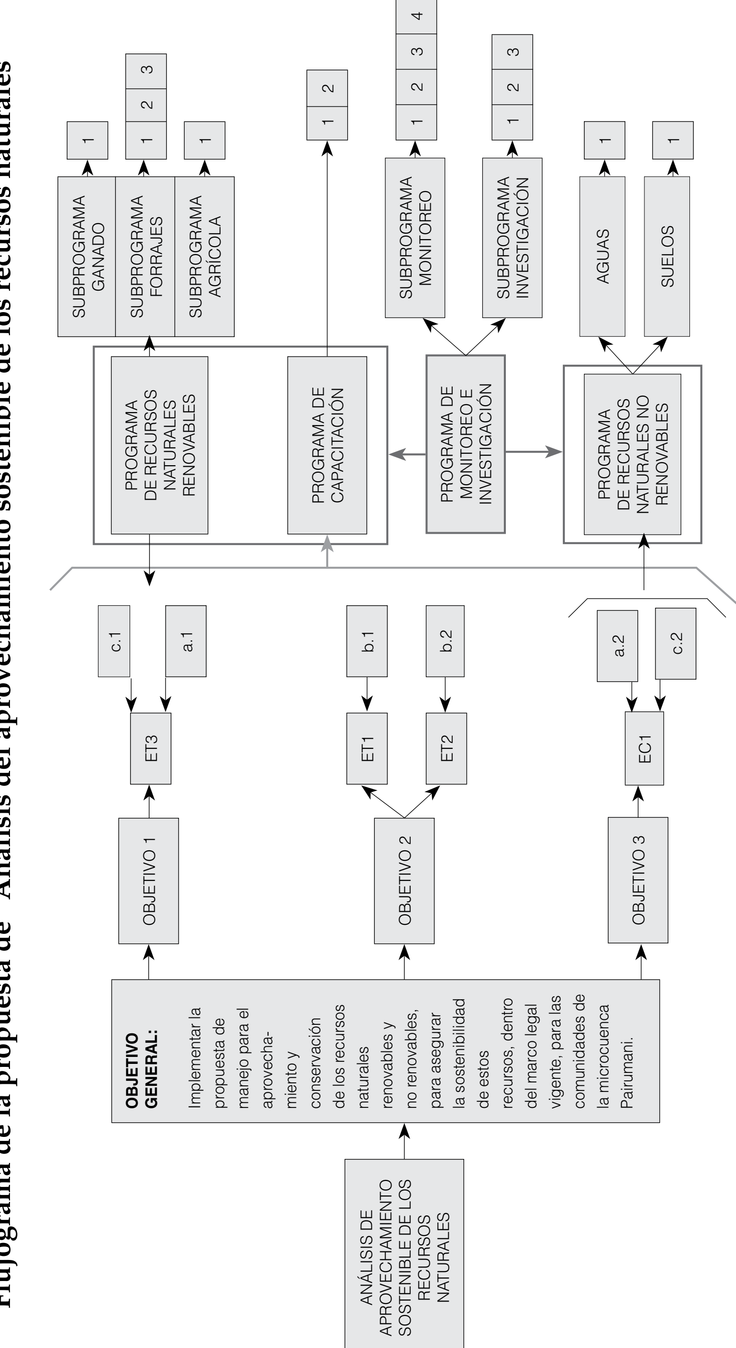
La visión es que las comunidades de Aco Aco y Pairumani (microcuenca de Pairumani), pertenecientes al municipio de Machacamarca cuenten con infraestructura productiva para el ganado. En cuanto a manejo, cuenten con alimentación de buena calidad, asesoramiento técnico en sanidad, reproducción y genética y tecnología adecuada para la elaboración de productos y subproductos. Que el ganado sea alimentado oportunamente con forrajes de buena calidad, aprovechando recursos propios del lugar, con rendimientos altos en biomasa de praderas introducidas y nativas e infraestructura para heniles y silos. Que sus autoridades realicen gestiones para el desarrollo de sus comunidades. Todo esto en el marco de un desarrollo que garantice en el tiempo la seguridad de recursos naturales (renovables y no renovables).

2.8. Objetivos del plan

2.8.1. Objetivo general

Contribuir a mejorar la calidad de vida de las comunidades de Pairumani y Aco Aco, mejorando el manejo, el aprovechamiento y la conservación de los recursos naturales renovables y no renovables para asegurar su sostenibilidad dentro del marco legal vigente.

Gráfica 14
Flujograma de la propuesta de "Análisis del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales"



Fuente: elaboración propia.

2.8.2. Objetivos específicos

Objetivo 1: Fomentar el manejo y la conservación de los recursos pecuarios y agrícolas para lograr una producción permanente y sostenida en el tiempo.

Objetivo 2: Desarrollar y transferir tecnologías para el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales.

Objetivo 3: Optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales no renovables (suelo y agua) para lograr un mejor uso de la capacidad productiva de la tierra.

2.9. Estrategias de desarrollo

Estrategia técnica 1: establecer un marco institucional para la planificación y monitoreo de los recursos naturales.

Estrategia 2: promover la investigación de tecnologías pecuarias y agrícolas apropiadas al medio.

Estrategia 3: aplicar las técnicas más apropiadas de extracción del recurso y cosecha sostenible.

Estrategia de capacitación 1: desarrollar un enfoque sistemático en los procesos de capacitación para identificar los grupos de interés y promover la participación de los actores locales en la implementación de la presente propuesta de desarrollo.

Para alcanzar los objetivos y enfrentar los problemas generales de las comunidades de la microcuenca de Pairumani y dentro del marco de las políticas de desarrollo del gobierno actual, se ha determinado tres líneas estratégicas: a) infraestructura de apoyo a la producción, b) capacitación técnica y c) manejo de recursos naturales.

a) Infraestructura de apoyo a la producción

a.1 Captadores de agua de lluvias. Se levantará construcciones destinadas a captar agua de lluvias para el aprovechamiento del

recurso hídrico; el objetivo es proveer agua suplementaria a las comunidades para disminuir la demanda de este recurso en épocas de estiaje.

a.2 Producción pecuaria. Para mejorar la productividad del ganado y mejorar los ingresos de las familias beneficiarias, se consolidará en una primera parte la producción forrajera, acompañando con asesoramiento técnico para encarar un manejo adecuado de las praderas nativas y aumentar la producción pecuaria en el horizonte de la presente propuesta.

b) Capacitación técnica

Para cumplir con los objetivos de incrementar la productividad agrícola y pecuaria, se capacitará a los productores en los siguientes rubros:

b.1 Producción pecuaria. Sanidad animal, manejo de reproductores y manejo de ganado.

b.2 Producción forrajera. Siembra de forrajes, manejo agronómico de forrajes, cosecha de forrajes, conservación de forrajes (heniles y silos) y manejo de praderas nativas.

c) Manejo de recursos naturales

El manejo de los recursos naturales debe ser tomado en cuenta en todos los procesos de implementación del plan, ya que esto garantizará su sostenibilidad. Se debe realizar mediante el apoyo de organizaciones gubernamentales y organizaciones no gubernamentales.

2.10. Programa y perfiles de proyectos

La tabla siguiente detalla este acápite.

Tabla 65
Programas, subprogramas y perfiles de proyectos

Programa	Subprograma	Proyecto	Años				
			1	2	3	4	5
Recursos naturales renovables	Ganado	**1.** Infraestructura productiva y transferencia de tecnologías para el manejo sostenible del ganado					
	FORRAJES	**1.** Manejo de forrajes nativos e introducidos y métodos de conservación **2.** Producción de biomasa forrajera asociada con alfalfa (***Medicago sativa L)*** *y* cebada ***(Hordeum vulgare)***					
		3. Manejo de praderas nativas de las comunidades de Aco Aco y Pairumani.					
	AGRÍCOLA	**1.** Cultivos de ***Vicia faba y Chenopodium quinoa*** *Willd* y seguridad alimentaria					
Recursos naturales no renovables	Agua	**1.** Implementación de infraestructura de captación de aguas de lluvia					
	SUELO	1. Manejo de suelos en las comunidades de Aco Aco y Pairumani					
Capacitación		**1.** Capacitación en transferencia de tecnología en recursos pecuarios **2.** Capacitación en transferencia de tecnología en recursos agrícolas					
Monitoreo e investigación	Monitoreo	**1.** Monitoreo ganado-forrajes **2.** Monitoreo forrajes-agrícola **3.** Monitoreo agua-suelo **4.** Monitoreo capacitación					
	Investigación	**1.** Efecto de la palatabilidad de biomasa forrajera en ganado llamuno y ovino					
		2. Evaluar rendimientos y producción de ***Vicia faba*** y ***Chenopodium quinoa*** *Willd.*					
		3. Efecto de la salinización de suelos por actividades hídricas					
		1. Ruta turística ecocultural comunitaria Aco Aco					

Fuente: elaboración propia.

2.10.1. Programa de recursos renovables

La agropecuaria tiene su papel fundamental en el proceso de desarrollo de una región. Este sector es el que más absorbe recursos humanos y es fuente de trabajo para la industrialización, pues al incrementar la productividad agrícola hay oferta de mano de obra en la industria, sin quebrantar la oferta de alimentos. No obstante para ello, es necesario rescatar la tecnología tradicional para la producción.

2.10.2. Programa de recursos no renovables

Las comunidades de Aco Aco y Pairumani tienen su potencialidad en la producción pecuaria y en menor proporción en la agrícola. En forma general, el área posee recursos hídricos superficiales, pero son pequeñas vertientes que no abastecen las demandas de la zona.

Una de las alternativas para paliar esta carencia son las aguas de lluvia que podrían ser captadas en épocas de lluvia y estar disponibles en épocas de estiaje. En el caso del recurso edáfico, se trata de manejarlo teniendo en cuenta que se trata de suelos superficiales y que toda actividad no bien planificada llevará a su degradación y desertización, mucho más si es en una zona con procesos de contaminación por las actividades mineras.

2.10.3. Programa de capacitación

Es el componente transversal de mayor importancia de cara a la sostenibilidad. En este sentido, se ha privilegiado varias líneas de acción. La capacitación se realizará en cada comunidad, Aco Aco y Pairumani, bajo una metodología de escuela de campo: capacitaciones *in situ,* donde el productor es partícipe de la innovación tecnológica. Este componente, al igual que otros, será coordinado estrechamente con los productores; de igual manera, el proyecto insertará actividades de capacitación específicas dirigidas a hombres y mujeres. Este trabajo buscará la inserción efectiva de ambos sexos en el proceso de adopción de tecnología para buscar su especialización.

2.10.4. Programa de monitoreo e investigación

Uno de los aspectos importantes y que muchas veces no se considera es el programa de monitoreo e investigación; es el que sigue los efectos que suceden al implementarse proyectos específicos y nos muestra qué tan cerca de los objetivos propuestos se está. La investigación es un componente importante en toda propuesta de desarrollo local, ayuda a generar información y a responder dudas que al inicio de la propuesta no se tenía (o se desconocía). En conjunto, el monitoreo y la investigación, en la mayoría de los casos, ayudan a mejorar la implementación y ejecución de la propuesta (no olvidemos que

toda propuesta es propositiva y puede ser perfectible en el transcurso de su implementación). Con esto no debe entenderse que se puede cambiar todo lo propuesto al inicio, sino que se puede direccionar algunos programas, subprogramas e incluso algunos proyectos que en un inicio no estaban así contemplados.

Bibliografía

AA VV

2006 *Diálogo sostenible: estudio de las condiciones necesarias para el manejo de conflictos en sitios mineros de Bolivia (Amayapampa, La Joya-Chuquiña, San Cristóbal y Huanuni)*, Latina editores, Oruro.

Chan B. Sk., R. H. Mozley y G. J. Childs

1991 "Extended trials with the high tonnage Multi- Gravity Separator", en *Minerals Engineering*, vol. 4, pág. 489.

Coronado, Felipe *et al.*

2003 *Santo Tomás. Evaluación ambiental de la comunidad (lago Uru Uru)*, Latina editores, Oruro.

Dávila, O.

1977 "Preconcentración de minerales de estaño y wolfram en medios dinámicos", Anales, II Simposio Internacional del Estaño, Ministerio de Minas, La Paz, Bolivia. Facultad Nacional de Ingeniería - UTO.

2003-2004 *Experimentación metalúrgica en escala piloto de gravimetría centrífuga con muestras estañíferas provenientes de la Empresa Minera Catavi y denominadas Colas Lamas del Kenko y Colas Arenas del Ingenio Victoria, empleando el Kelsey jig y el concentrador Falcon, para la Empresa Mineral Processing*, Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, Facultad Nacional de Ingeniería, UTO.

2005 *Experimentación metalúrgica de gravimetría centrífuga con muestras estañíferas provenientes de lña Mina San Florencio y Japo, empleando el Kelsey jig, para la Empresa AITCO*, Laboratorio

de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, Facultad Nacional de Ingeniería, UTO.

2006a *Experimentación metalúrgica de gravimétrica centrífuga con muestras estañíferas provenientes de la Empresa Minera Huanuni y denominadas:* Over flow *de los ciclones,* Under flow *de los ciclones,* Over flow *del clasificador Akins y Alimentación Ingenio, empleando el Kelsey* jig, *para la Empresa AITCO,* Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, Facultad Nacional de Ingeniería, UTO.

2006b *Experimentación metalúrgica de gravimetría centrífuga con muestra estañífera procedente de las colas sulfurosas de Milluni-La Paz, empleando el Kelsey* jig *JC200,* Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, mayo de 2006.

2006c *Preconcentración centrífuga en Falcon y* up grading *en mesa vibrante, a partir de una muestra de colas lamas estañíferas, proveniente de la empresa Green Metals,* Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, mayo de 2006.

2006d *Pruebas de tratamiento gravimétrico y centrífugo a muestra estañífera proveniente de la empresa Metalúrgica Oruro S. A. - OMSA,* Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, abril de 2006.

2007a *Pruebas de concentración centrífuga-mesa y flotación diferencial para la recuperación de valores a partir de sulfuros complejos denominados colas-chojñacota,* Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, diciembre de 2007.

2007b *Pruebas de concentración centrífuga-mesa, usando la centrífuga china y el concentrador Falcon, con una muestra estañífera denominada colas gravimétricas de Monte Blanco,* Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, mayo de 2007.

2007c *Pruebas de concentración gravimétrica y centrífuga, usando el concentrador Falcon y mesas vibrantes, con una muestra estañífera proveniente de la empresa minera Rolando, Potosí,* Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, abril de 2007.

2007d *Pruebas de concentración centrífuga y flotación para la recuperación de valores de zinc a partir de colas de flotación, provenientes de Mina*

Aguilar, Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, julio de 2007.

2007e *Preconcentración centrífuga a dos muestras estañíferas denominadas: "colas alta ley" y "colas baja ley", provenientes de la empresa Green Metals*, Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, mayo de 2007.

2008 *Pruebas de concentración centrífuga-gravimétrica con varias muestras estañíferas provenientes del río Huanuni-Proyecto Sora Sora,* Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, agosto de 2008.

S.D. *Pruebas experimentales de concentración centrífuga y flotación para la recuperación de valores auríferos a partir de colas con muestras provenientes de la empresa Golden Hill,* Laboratorio de Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, septiembre.

S.D. *Pruebas metalúrgicas para la implementación del nuevo Ingenio en la Empresa Minera Huanuni con capacidad de 3000* toneladas por día, Laboratorio Concentración de Minerales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, diciembre.

Frenay, J.; P. Ancia y P. Dandois

1997 "Fluidisation des Matieres granulaires et nouvelles techniques de separation gravimetrique", en *Concention Region Wallone-Aout*, Universite Liege, Bélgica.

Fundación MEDMIN

1998 *Manejo ambiental en la pequeña minería*, Fundación MEDMIN, La Paz.

2001 *Impactos económicos y ambientales de la liberación del comercio: una aplicación al sector minero*, Fundación MEDMIN, La Paz.

Hinojosa, O.

1997 "Recuperación de estaño de las colas arenas de la Empresa Minera Gutiérrez", en *Revista Metalúrgica,* Nº 6, diciembre.

2000 "Aplicación del Kelsey-*jig* en la recuperación de partículas finas de casiterita de relaves y de yacimientos de fina diseminación", IV Congreso Nacional de Metalurgia y Ciencia de Materiales", Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, diciembre de 2000.

Knelson *et al.*
1992 "The Knelson concentrator, Metamorphosis from crude beginning to sophisticated word wide acceptance", en *Mineral Engineering*, vol. 5, N° 10-12, págs. 1091-1097.

Knut, S. y R. Arvid
1997 "Gravity Separation of bulk products in centrifugal fields", en *Proceedings of the XX IMPC - Aachen*, págs. 599-610.

Laplante, A. R.
1995 *A comparative Study of two centrifugal concentrators*, Professional Development Seminars, Mc Gill University, Canadá.

López, Elizabeth
2005 *Medio ambiente y desarrollo sostenible*, Latina editores, Oruro.

Mathenson J.H.
1997 "Fluidisation des Matieres granulaires et nouvelles techniques de separation gravimetrique", en *Concention Region Wallone-Aout*, Universite Liege, Bélgica, pág. 14.

Ministerio de Minas
2001 "Recovery of Tin Peoducction in Malasie", en *Engineering and Mining Journal*, enero.

Möeller, Hans *et al.*
2002 *Dinamitas y contaminantes: cooperativas mineras y su incidencia en la problemática ambiental*, La Paz.

Mular, A. y R. Poulin
S. D. "Handbook for estimating mining and mineral processing equipment costs and capital expenditures and aiding mineral project evaluations", CIM special volumen 47, Montreal, Quebec, H3Z 3B8, Canadá.

Salas, A. y O. Hinojosa
1996 "Concentración centrífuga de menas estanníferas", III Congreso Nacional de Metalurgia y Ciencia de Materiales, Universidad Técnica de Oruro, Carrera de Ingeniería Metalúrgica.

1998a “Concentración centrífuga de menas estanníferas”, III Congreso Nal. de Metalurgia y Ciencia de Materiales, diciembre 3 al 5 de 1998, Oruro, Bolivia.

1998b “Estudio comparativo de dos formas de trituración con una mena estannífera”, III Congreso Nal. de Metalurgia y Ciencia de Materiales, diciembre del 3 al 5 de 1998, Oruro, Bolivia.

1998c “Evaluación de procesos en concentración de minerales con ayuda de diagramas de eficiencia”, parte II, en *Revista Metalúrgica,* N° 17, Oruro, julio de 1998.

2000 “Pruebas de investigación en el tratamiento de partículas finas de materiales estanníferos”, IV Congreso Nacional de Metalurgia y Ciencia de Materiales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, diciembre de 2000.

2006 “Fundamentos del uso del Kelsey-*jig* en la recuperación de partículas finas”, VII Congreso Nacional de Metalurgia y Ciencia de Materiales, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, FNI-UTO, Oruro, julio de 2006.

Salas, A. y T. Iriarte

1975 “Preconcentración de menas estañíferas en campos centrífugos mediante pulpas pesadas de ferrosilicio”, en *Revista Metalúrgica,* N° 2, Universidad Técnica de Oruro, Carrera de Ingeniería Metalúrgica, Oruro.

Schubert, H.

1996 “*Aufbereitung fester Stoffe*” Band II Sortie Prozesse 4 Auflage, Deutscher Verlag für Grunddstoffindustrie, Stuttgart, Alemania.

Tu T. y Yan C. H.

1979 “New Flowsheets increese Sn Recovery from Eluvial Ores”, en *World Mine*, octubre de 1979.

UTO-MINCO-FUNDECO

2008 *Evaluación ambiental del lago Poopó y sus tributarios*, UTO, MINCO, FUNDECO, Oruro.

Autores

Gerardo Zamora Echenique

Ingeniero metalúrgico en la Universidad Técnica de Oruro; diplomado y doctorado en la Universidad RWTH Aachen, Alemania y especialista en gestión ambiental minera (Cooperación Canadiense - Proyecto REFORMIN). Miembro de la Red Latinoamericana de Economía Ambiental. Profesor invitado en las Universidad de Freiberg y TU, Berlín (Alemania), en la Escuela Politécnica de Guayaquil (Ecuador) , en la Pontificia Universidad Católica de Lima (Perú) y en la Universidad Nacional de Antofagasta (Chile). Profesor de posgrado de programas de maestría y doctorado en Bolivia, Argentina, Ecuador, Perú y Chile en medio ambiente minero. Tiene más de sesenta cursos de posgrado impartidos. Tiene más de cincuenta artículos publicados en revistas científicas nacionales e internacionales. Miembro evaluador del Programa ALBAN de la Comunidad Europea para América Latina, miembro del Comité Internacional del Latinometalurgia (Perú), miembro del Comité Científico del Iberometalurgia (Chile).

Antonio Salas Casado

Ingeniero de minas, con posgrado en concentración de minerales en la Academia de Minas de Freiberg (Alemania). Doctorado en ciencias aplicadas en la Universidad Católica de Lovaina. Especialista en gestión ambiental minera (Cooperación Canadiense - Proyecto REFORMIN). Miembro de las Academias de Ciencias de Bélgica y Bolivia, director de la carrera de ingeniería metalúrgica de la UTO,

docente en concentración de minerales y medio ambiente minero en la Facultad Nacional de Ingeniería de la UTO. Profesor invitado de varias universidades latinoamericanas. Profesor de posgrado en medio ambiente en varias universidades de Bolivia, Perú y Ecuador. Ha patentado dos invenciones, tiene numerosas publicaciones científicas en revistas nacionales e internacionales.

Octavio Hinojosa Carrasco

Ingeniero, con una maestría en ciencias, especialista en tecnologías de beneficio mineral y control ambiental, cursos de especialidad en Alemania y Chile. Diplomado y magíster en la Universidad Técnica de Oruro, especialista en gestión ambiental minera (Cooperación Canadiense - Proyecto REFORMIN), profesor de posgrado en el área de medio ambiente y concentración de minerales. Profesor invitado de universidades de Perú y Bolivia; ha publicado más de treinta artículos científicos. Docente universitario desde 1987.

Genny Isabel Claure Álvarez

Licenciada en ingeniería química, por la Universidad Técnica de Oruro. Postulante al doctorado en recursos naturales y medio ambiente de la Universidad Politécnica de Cataluña y la UTO. Magíster en tecnologías de protección ambiental de la UTO. Especialista en manejo y resolución de problemas en Bolivia (Fundación UNIR - UTO). Diplomada en didáctica tecnológica de información y comunicación de la UTO. Docente universitaria desde 2002 en la Facultad Nacional de Ingeniería de la Universidad Técnica de Oruro en asignaturas de gestión ambiental y protección ambiental; desde 2003 realiza distintos trabajos de investigación, gestionando convenios interinstitucionales con sectores productivos e instituciones responsables de la gestión ambiental en Bolivia.

Pedro R. Vallejos Mamani

Ingeniero agrónomo por la Facultad de Agronomía de la Universidad Técnica de Oruro. Magíster en recursos hídricos, SIG y teledetección (UMSS - CLAS - CEDEX - Universidad Politécnica de Madrid). Magíster en ingeniería ambiental (ITO, México), Coordinador del proyecto en cambio climático y medio ambiente (PIEB). Coordinador de posgrado en SIG y teledetección en la UTO. Profesor invitado del ITO, México. Profesor invitado del posgrado de la UTO. Miembro de la Sociedad Boliviana de la Ciencia del Suelo.

Milton Pérez Lovera

Licenciado en ingeniería agronómica por la Universidad Técnica de Oruro. Magíster en ecología y conservación (Instituto de Ecología - UMSA). Tiene especialización en calidad ambiental (Instituto de Ecología - UMSA). Diplomado en elaboración y evaluación de proyectos (CEMLA – Universidad de Chile). Diplomado en conservación de la biodiversidad (UTO). Diplomado en educación superior (UTO).

Cinda Beltrán Ortiz

Licenciada en ingeniería metalúrgica por la Universidad Técnica de Oruro. Diplomada en gestión universitaria. Magíster en tecnologías de protección ambiental (UTO). Especialista en beneficio de minerales (Universidad de Concepción - Chile). Coordinadora del proyecto PROMETAL (GTZ - UTO). Editora de publicaciones bianuales de las Conferencias Internacionales del Oro. Jefe del laboratorio de concentración de minerales de la carrera de metalurgia de la UTO. Tiene publicaciones en revistas nacionales e internacionales sobre la temática de beneficio de minerales.